

V. Bogatu

*Probe și verificări
ale mașinilor electrice*

colecția
electricianului



editura tehnică

[Handwritten signature]

Ing. V. Bogatu

**Probe și verificări
ale mașinilor electrice
după reparații
și la punerea în funcțiune**



Editura tehnică

București, 1968

1. Probe generale privind mașinile electrice

1.1. Verificări necesare

Verificările ce se efectuează înaintea pornirii mașinilor electrice, cum și metodele de măsură și reglare de prind în mod esențial de tipul constructiv al mașinii, de felul și valoarea tensiunii de alimentare, cum și de destinație, iar într-o măsură mult mai mică chiar de puterea mașinilor. În funcție de tipul și destinația mașinii, volumul lucrărilor de reglare poate fi diferit. Stabilirea exactă a volumului și natura lucrărilor necesare, cum și alegerea metodelor speciale de verificare și încercare, unde este cazul, se va face pentru fiecare caz concret.

Privit în ansamblu, programul general de verificări și încercări, în timpul sau la sfârșitul lucrărilor de montaj (inclusiv punerea în funcțiune) trebuie să cuprindă în ordine:

- verificarea exterioară și a stării generale a mașinii;
- verificarea montajului mecanic al mașinii;
- măsurarea rezistențelor de izolație;
- încercarea rigidității dielectrice a izolației înfășurărilor;
- măsurarea rezistențelor înfășurărilor;
- verificarea așezării periilor și portperiilor pe colector;
- verificarea schemei de conectare la rețea și legăturile interioare;
- pornirea de probă a mașinii, verificarea mersului liber și controlul funcționării părții mecanice la mersul în gol;
- ridicarea caracteristicilor la mersul în gol;
- pornirea în sarcină și verificarea funcționării.

Respectarea realizării complete a acestui program, împreună cu analiza atentă și interpretarea corectă a rezultatelor încercărilor, asigură pregătirea tuturor condițiilor necesare pentru efectuarea punerii în funcțiune a mașinilor electrice, în cele mai bune condițiuni.

1.2. Verificarea exterioară

Se controlează și se verifică starea bună a tuturor părților mașinii. Acest control se realizează împreună cu personalul de montaj care a efectuat montajul și reglajele mecanice urmărindu-se:

— Corespondența proiectului instalației tehnologice și a mecanismului sau a agregatului, cu datele din cartea mașinii. Această corespondență confirmă alegerea corectă a mașinii electrice în instalație și va asigura o funcționare corespunzătoare.

— Dacă există toate piesele și subansamblele agregatului, iar montarea mașinii electrice a fost făcută conform proiectului instalației și a instrucțiunilor de fabrică.

— Starea generală a mașinii, suprafetele exterioare lașărele, placa de borne, carcasa, izolatoarele bornelor la mașinile de tensiune înaltă, portperiile, colectorul, aspectul exterior al înfășurărilor când acestea sînt vizibile etc.

1.3. Verificarea montajului mecanic al mașinii

În instalațiile industriale montajul mașinilor electrice este realizat de montori mecanici care asigură și efectuarea tuturor reglajelor mecanice. În marea majoritate aceste reglaje se referă în special la poziția de montaj și la cuplarea mașinii electrice la agregatul sau utilajul pe care-l deservește, deoarece aproape toate mașinile electrice sînt livrate de fabrica constructoare complet asamblate, gata de a fi puse în funcțiune.

În cazul mașinilor electrice care au fost transportate demontate la locul de instalare sau al celor care conform indicațiilor firmei constructoare li se face o revizie la locul de montaj, personalul care execută încercările și măsură-

rile electrice de verificare va lucra împreună cu montorii mecanici, urmărind respectarea indicațiilor date de fabrică. În cazul cînd acestea lipsesc, se vor avea în vedere următoarele:

— Se verifică întrefierul în diferite puncte decalate sub poli. La mașinile mari se recomandă ca, alegînd un punct oarecare de pe rotor, să se verifice întrefierul între acesta și toți poli sau să se facă verificarea întrefierului prin rotirea treptată a indusului. -

Măsurarea întrefierului se face cu spioni alcătuiți într-o trusă de lamele calibrate cu lungimea de 250 mm, iar în cazul mașinilor cu întrefierul mare, cu spioni speciali (de exemplu la turbogeneratoare).

Pentru ca rezultatele măsurărilor să fie precise, spionul trebuie să fie orientat paralel cu axa mașinii și să atingă fierul rotorului și statorului, dar să nu atingă pana din creștătură sau bandajul. De asemenea spionul trebuie să fie perfect curat și să se aibă în vedere să nimerească într-un loc curat și fără lac.

Pentru același punct al statorului se fac trei măsurări în trei poziții diferite ale rotorului, decalate aproximativ la 120°. Acest grup de trei măsurări se repetă pentru alte două puncte decalate față de primele. Dacă se observă un punct cu variație vizibilă a întrefierului, se fac măsurări și în acel punct.

Întrefierul mediu este definit ca media aritmetică a rezultatelor măsurărilor de mai sus și se notează cu d_{med} .

Se definește asimetria procentuală a întrefierului prin relația:

$$\alpha = \frac{d_{max} - d_{min}}{d_{med}} \times 100 [\%],$$

în care d_{max} , d_{min} sînt valorile maximă și minimă ale întrefierului rezultate din cele nouă măsurări;

d_{med} este întrefierul definit mai sus.

Asimetria nu trebuie să depășească valoarea de 10 %, adică

$$\alpha \leq 10 [\%].$$

Respectarea acestei condiții este necesară, întrucât neuniformitatea întrefierului poate duce la o nesimetrie puternică a cîmpului magnetic al mașinii (fig. 1). La învîrtirea rotorului, arborele va fi parcurs de un flux magnetic variabil și deci în el se va induce o tensiune electromotoare care va da naștere la curenți atât în arbore, cît și în lagăre. Efectul curenților în arbore și lagăre este dăunător funcționării corecte, putînd chiar pune în pericol starea lagărelor.

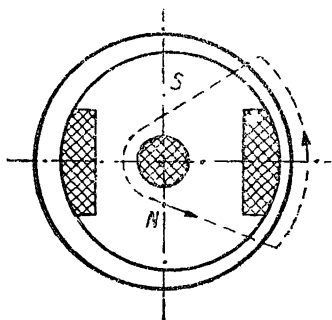


Fig. 1. Circuitul liniilor de cîmp magnetic în cazul întrefierului neuniform.

În același timp, întrefierul neuniform poate crea forțe unilaterale de atracție mari la pornire deci supra-solicitări suplimentare ale înfășurării rotorice și ale rotorului în ansamblu.

Corectarea asimetriei pentru aducerea ei în limitele admise face parte din procesul de montaj și se realizează conform indicațiilor primite de la fabrica constructoare.

— Se verifică cu atenție și se compară cu desenele, lipirea sau îmbinările cu buloane ale înfășurărilor în locurile de demontare. Este necesar controlul lipsei de întrefier în locurile de îmbinare a celor două jumătăți ale circuitului magnetic.

— Se verifică bandajele, penele în creștături, lipirea stegulețelor, starea părților frontale ale înfășurărilor, colectorul.

— Mașinile mici se rotesc manual, iar cele mari cu ajutorul unei rîngi sau a unei macarale de montaj. În acest caz se verifică prin ascultare dacă în interior nu se produc atingeri, lovituri, zgîneturi. Funcționarea lagărelor se verifică de asemenea prin ascultare, examinîndu-se și deplasarea inelelor de ungere.

În același timp cu rotirea se imprimă rotorului o ușoară deplasare axială și se verifică dacă în acest caz nu se produc atingeri între stegulețele înfășurării rotorice și

casetele portperiilor, între ventilator și capac, dacă nu are loc înțepenirea inelelor de ungere, dacă rulmenții nu bat în casete etc.

Valoarea deplasării axiale este dată în cartea mașinii sau pentru tipul respectiv la produse de serie în catalog. Deplasarea axială în general este cuprinsă în limitele 1—4 mm.

— În cazul lagărelor de rulare trebuie verificată corectitudinea asamblării lor și a ungerii. Compoziția de ungere se indică de fabrica constructoare și se recomandă ca din volumul casetei de ungere să fie plin cu unsoare maximum 2/3.

Pentru control se desfac capacele sau flanșele care închid rulmenții și se verifică starea unsorii care nu trebuie să fie uscată.

În cazul când este necesară schimbarea unsorii rulmenților, aceștia se curăță cu motorină de unsoarea veche și se umplu din nou cu vaselină.

Pentru mașinile construite la noi în țară se folosesc la rulmenți cu bile sau role mărcile de vaselină indicate în tabelul 1.

Tabelul 1

Vaseline pentru rulmenți

Marca vaselinei	Temperatura de picurare °C	Baza	Destinația	STAS
Universală, cu punct de picurare ridicat, rezistentă la apă, Rn 100	100	De calciu	Pentru rulmenții care funcționează la umiditate mărită	4951-55
Universală, cu punct de picurare ridicat, Rn 145	145	De sodiu	Pentru rulmenții care funcționează la temperatura ce nu depășesc 115°C	4951-55

1.4. Măsurarea rezistenței de izolație

Rezistența de izolație a înfășurărilor mașinilor electrice se măsoară cu ajutorul megohmmetrului înaintea pornirii de probă sau înaintea tuturor pornirilor precedate de o oprire îndelungată.

Este indicat ca în perioada pornirilor de rodaj a instalațiilor tehnologice, să se verifice rezistența de izolație a înfășurărilor mașinilor electrice împreună cu tot circuitul de alimentare, când între două porniri succesive au trecut mai mult de 24 h.

Respectarea acestei recomandări este foarte importantă în cazul unităților mari ca putere sau la cele de tensiune înaltă, cum și în cazul acționărilor de răspundere mare.

Tensiunea a megohmmetrului este aleasă în funcție de tensiunea nominală a înfășurării care se măsoară.

Astfel, pentru înfășurările cu tensiunea nominală (U_n) pînă la 500 V se folosește megohmmetrul de 1 000 V sau, în lipsă, de 500 V, pentru înfășurări cu $U_n \leq 1\,000$ V se folosește megohmmetrul de 1 000 V, iar pentru înfășurări cu $U_n > 1\,000$ V se folosește megohmmetrul de 2 500 V.

Conform STAS 1893-65, rezistența de izolație a înfășurărilor mașinilor electrice față de masă și între înfășurări nu trebuie să fie mai mică decît valoarea obținută din relația:

$$R_{izot} = \frac{U_n}{1\,000 + \frac{R_n}{100}} [M\Omega],$$

în care U_n și P_n sînt valorile nominale ale mașinii (în V și kVA).

Valoarea obținută prin relația de mai sus reprezintă rezistența de izolație minimă admisă în exploatare. La mașinile noi, rezistența de izolație a înfășurărilor este mult mai mare decît valoarea obținută prin relația de mai sus, iar valorile de comparație se iau din catalogul fabricii constructoare sau din cartea mașinii.

Rezistența de izolație a înfășurărilor mașinilor electrice depinde foarte mult de temperatură. Se admite totuși să

se aprecieze starea izolației mașinilor de tensiune joasă cu puteri pînă la 100 kW după rezultatele măsurărilor la rece.

În tabelul 2 se dau date orientative privind variația rezistenței de izolație în funcție de încălzirea mașinii.

Tabelul 2

**Raportul rezistențelor de izolație
în stare caldă și rece**

$\Delta\theta, ^\circ\text{C}$	20	40	60	80	100
K	3	10	30	100	300

În tabelul 2 s-a notat:

$\Delta\theta, ^\circ\text{C}$ — diferența între temperatura mașinii în funcționare și cea în stare rece;

K — raportul rezistențelor de izolație a mașinii în stare rece și cea în stare caldă la $\theta^\circ\text{C}$.

De exemplu, dacă în stare rece temperatura mașinii este de $\theta = 20^\circ\text{C}$, iar în stare caldă are 100°C , $\Delta\theta = 80^\circ\text{C}$ iar raportul K are valoarea 100.

Dacă rezistența mașinii în stare rece era, de exemplu,

$$R_{\text{izol}} = 50 \text{ M}\Omega,$$

în stare caldă va fi de 100 ori mai mică, adică $0,5 \text{ M}\Omega$.

În cazul în care rezistența de izolație măsurată la rece și recalculată la temperatura de funcționare indicată în cartea mașinii sau conform STAS pentru clasa de izolație respectivă, este mai mică decît $0,5 \text{ M}\Omega$, este indicat să se efectueze o *încălzire de probă* — la temperatura de funcționare la care se va măsura precis valoarea rezistenței de izolație.

În funcție de condițiile de care se dispune, cele mai practice și ușoare metode de a se realiza încălzirea de probă sînt:

— funcționarea în scurtcircuit, la generatoare:

— racordarea înfășurărilor înseriate la o sursă de curent continuu reglabilă care poate fi cu succes realizată de un grup convertizor de sudură.

În cazul mașinilor de tensiune înaltă, măsurarea rezistenței de izolație are anumite particularități care în mod obligatoriu trebuie luate în considerare.

Datorită izolației puternice, înfășurările statorice au o capacitate mare între ele și față de masă. În timpul măsurării indicațiile megohmmetrului variază în timp datorită încărcării capacității.

Rezultatele obținute sînt considerate corespunzătoare dacă se citesc la 60 s după aplicarea tensiunii de măsură, tensiune care trebuie să fie constantă.

Tensiunea de măsură poate fi menținută practic — constantă dacă turația inductorului megohmmetrului este constantă și aproximativ egală cu cea nominală indicată pe aparat.

Se citesc indicațiile aparatului după 15 s și respectiv 60 s de la aplicarea tensiunii notîndu-se valorile respective.

Raportul K_a între valorile rezistențelor de izolație citite la 60 s notată cu R_{60} și la 15 s notată cu R_{15} reprezintă un criteriu de apreciere al umidității izolației înfășurării. Acest raport $K_a = \frac{R_{60}}{R_{15}}$ este numit *coeficient de absorbție* și se recomandă ca valoarea lui minimă să fie 1,3 pentru temperaturi cuprinse între 15 și 30°C. Cu cît raportul K_a este mai mare, cu atît gradul de umiditate al izolației respective este mai mic.

În cazul cînd R_{60} are o valoare mult mai mică sub cea normată, iar K_a este aproape 1, concluzia ce se trage este că înfășurarea este umedă și trebuie efectuată o uscare.

Se recomandă, dacă este posibil și în special la mașinile de puteri mari, să se determine coeficientul de absorbție la cîteva valori diferite ale temperaturii înfășurării. În orice caz se va determina coeficientul K_a pentru mașina în stare rece. Se consideră starea rece cînd temperatura înfășurărilor este egală cu cea a mediului înconjurător.

Dacă R_{60} nu a scăzut sub 50 % din valoarea măsurată anterior și dacă K_a nu a scăzut mai mult decît valorile indicate în tabelul 3, nu mai este necesară uscarea înfășurării.

Valori recomandate pentru coeficientul de absorbție

Temperatura înfășurării, °C	20	30	40	50	60	70
Scăderea admisă pentru K_a , %	44	30	25	22	20	19

Valoarea medie de exploatare a rezistenței de izolație la o anumită temperatură este definită ca fiind media aritmetică a tuturor valorilor rezistențelor de izolație măsurate la aceeași temperatură. De aceea, este absolut necesar ca toate măsurările de izolație pentru o mașină să fie făcute practic la aceeași temperatură, în care caz compararea datelor are o valoare reală.

Dacă $R_{60 \max}$ este valoarea maximă a rezistenței de izolație și $R_{60 \min}$ valoarea minimă, iar $R_{60 \text{ med}}$ valoarea medie a rezistențelor de izolație a celor trei faze măsurate separat, se definește coeficientul de asimetrie

$$a = \frac{R_{60 \max} - R_{60 \min}}{R_{60 \text{ med}}} .$$

Valoarea asimetriei nu trebuie să fie mai mare decât $2(a \leq 2)$.

Pentru mașinile sincrone de tensiune înaltă rezistența de izolație a înfășurării rotorice separată de excitatoare este considerată satisfăcătoare dacă valoarea ei este de minimum 1 MΩ la temperatura de regim.

Rezistența de izolație a înfășurărilor excitatoarei față de masă nu trebuie să fie mai mică decât 1 MΩ, astfel încât tot ansamblul (circuitul de excitație a mașinilor sincrone) să aibă o rezistență de izolație de minimum 0,5 MΩ la temperatura de regim.

Modificarea valorilor rezistenței de izolație și a coeficientului de absorbție poate fi provocată de diferite cauze: umiditate pe suprafața înfășurării, umiditate în grosimea izolației, depunerii de praf conductor la ieșiri, pe înfășurări, pe colector, pe inele, deteriorarea izolației etc. În

asemenea cazuri trebuie luate măsuri pentru stabilirea cauzei ce a dus la scăderea izolației și apoi uscarea, curățarea mașinii sau repararea izolației deteriorate.

În cazul rezistențelor de izolație foarte mici, pentru a se preciza dacă izolația este deteriorată sau puternic umezită, trebuie să se efectueze măsurarea rezistenței de izolație cu puntea Wheatstone. Măsurarea se face cu puntea pentru ambele sensuri de circulație a curentului în înfășurarea controlată.

Se deosebesc două cazuri după rezultatele măsurărilor:

— Cele două măsurări dau rezultate egale. În acest caz scăderea valorii rezistenței de izolație se datorește umezelii de la suprafață sau a prafului depus pe înfășurări.

— Rezultatele celor două măsurări sînt diferite. Scăderea rezistenței de izolație se datorește umezelii izolației în grosime. Măsurările dau rezultate diferite datorită apariției unor tensiuni electromotoare galvanice, create de circulația curentului continuu și deci valoarea tensiunii la care puntea se echilibrează se modifică.

Refacerea rezistenței de izolație prin curățare și eliminarea umezelii se efectuează după metode și instrucțiuni speciale, în funcție de tipul și mărimea mașinii, cum și după utilajul de care se dispune pentru aceste operații.

Pentru motoarele de fabricație AEG tip D5, capsulate, antiexplosive (Exd) de 0,4 kV, izolate cu micafoliu și șerlac, rezistența de izolație minimă admisă conform DIN 40 050 la 75°C este

$$R_{izol\ min} [\Omega] = 1\ 000 \times U_n [V].$$

Pentru motoarele de aceeași fabricație și tip cu $U_n = 6$ kV, valoarea minimă a rezistenței de izolație la 75°C este dată de relația .

$$R_{izol\ min} [\Omega] = \frac{1\ 000 \times U_n [V]}{\text{Diametrul rotorului [m]}} .$$

În cazul în care măsurarea se face la o altă valoare θ , °C a temperaturii înfășurării decît aceea de 75°C și pentru care sînt date relațiile de mai sus, valoarea rezistenței minime de izolație se recalculează pentru temperatura respectivă.

Valoarea rezistenței minime de izolație pentru temperatura dată se calculează cu relația

$$R_{izol \min} (\text{la } \theta \text{ }^{\circ}\text{C}) = k R_{izol \min} (\text{la } 75^{\circ}\text{C}),$$

în care k este un coeficient de corecție dat și care are valorile din tabelul 4, întocmit după prescripția de fabrică.

Tabelul 4

Valorile coeficientului de corecție

$\theta, \text{ }^{\circ}\text{C}$	10	20	30	40	50	60	70	75	80	90
k	12	8,1	5,6	3,85	2,65	1,85	1,3	1	0,85	0,6

Dacă valorile măsurate ale rezistenței de izolație sînt mai mici decît valorile ce rezultă din calcul, se va face uscarea.

Conform instrucțiunilor de fabrică, uscarea este indicată să se facă în curent continuu, la început cu un curent de $I=0,5 I_n$ pentru încălziri uniforme și fără solicitări, iar la sfîrșitul operației să se ajungă la $I_{max}=I_n$. În cazul folosirii curentului alternativ trifazat, rotorul trebuie imobilizat, iar la mașinile cu rotorul bobinat înfășurarea acestuia trebuie scurtcircuitată. Tensiunea ce se aplică este redusă și cu posibilități de reglare astfel încît să avem $I_{uscara}=0,5 I_n$. Pentru rotoarele bobinate, o măsură în plus la această metodă este de a controla temperatura bobinajului rotoric pentru a nu se depăși temperatura maximă admisă.

Conform instrucțiunilor AEG, la motoare de tensiune înaltă se dă curba de variație $R_{izol}=f(t^{\circ}\text{C})$ unde sînt indicate valorile medii ce trebuie obținute la uscare pentru fiecare fază față de masă (tabelul 5 și 6).

Tabelele indică valori orientative după cazuri practice obținute la aceste tipuri.

Pentru motoarele de fabricație Siemens tip dOR-9 și dOR-2 de 0,4 kV (capsulate, antiexplozive), conform normelor DIN 40 050 VDE 0171 și instrucțiunilor de fabrică

Tabelul 5

Motoare de 6 kV cu puteri pînă la 990 kW, 750 rot/min

$t, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	75
R_{izol} M Ω	72	48	33	23	15,5	10,5	7,5	4,8	4

Tabelul 6

Motoare de 6 kV cu puteri de 2 200—3 000 kW, 1 500 rot/min

$t, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	75
R_{izol} M Ω	136	96	62	47	29	20	14	9	7,5

NMA-2505 avînd izolație clasă B, izolația minimă admisă pentru punerea lor în funcțiune este

$$R_{\text{izol min}} = 1\,000 \, \Omega/\text{V}.$$

Această valoare este dată la tensiunea nominală pe fază, în condiții normale.

Pentru motoare de fabricație Marelli sau OET—Italia (conform instrucțiunilor de fabrică și instrucțiunilor de montaj și punere în funcțiune Montecatini — Italia) de construcție antiexplozivă, pentru punerea în funcțiune, valoarea minimă a rezistenței de izolație este în condiții normale $R_{\text{izol min}} = 1 \text{ M}\Omega$ la motoarele de 0,4 kV.

În cazul motoarelor de tensiune înaltă, valoarea minimă admisă la temperatura de funcționare se calculează cu relația

$$R_{\text{izol min admis}} = \frac{U_n}{1\,000 + P} [\text{M}\Omega]$$

în care: U_n este tensiunea nominală, în V;
 P_n — puterea nominală, în kW.

Pentru motoarele de fabricație Westinghouse se pot da următoarele precizări conform instrucțiunilor de fabrică și a standardului nr. 43 A.I.E.E., privind recomandările practice pentru probarea rezistenței de izolație a mașinilor electrice.

Motoare electrice de joasă tensiune. Rezistența de izolație minimă admisă R_{izol} a înfășurărilor satorice cu izolație clasă A, B sau H este

$$R_{izol} \geq 1 \text{ M } \Omega,$$

măsurată cu megohmmetrul de 1 000 V.

Motoare electrice cu puterea $S < 999 \text{ kVA}$. Rezistența de izolație standard a înfășurărilor satorice de tensiune înaltă cu izolație clasă A, B sau H la 75°C , măsurată cu megohmmetrul inductor de 500 V, 60 s este dată de relația simplificată

$$R_{izol} = U_n + 1 \text{ [M } \Omega],$$

în care U_n este tensiunea nominală a înfășurării, în kV.

Motoare electrice de înaltă tensiune cu $S \geq 1\,000 \text{ kVA}$. Rezistența de izolație standard la 40°C a înfășurării satorice este dată de relația

$$R_{izol} = K_t K_i \frac{(U_n + 3.6)(8 + \sqrt{n})}{\sqrt{S} - 16} \text{ [M } \Omega].$$

În relație s-a notat:

K_t — coeficientul de corecție al rezistenței de izolație, în funcție de temperatură, egal cu 1 la 40°C . Pentru alte valori de temperatură se dau valorile în tabelul 7.

K_i — coeficientul de izolație al înfășurărilor, egal cu 2.5 pentru izolație clasă A;
7 pentru izolație clasă B sau H;

U_n — tensiunea nominală a înfășurării, în kV;

n — turatia nominală a motorului, în rot/min;

S — puterea nominală, în kVA.

În cazul în care măsurarea rezistenței de izolație se face la o altă temperatură decât 40°C pentru care este

Valori ce coeficientului de corecție a rezistenței de izolație

Tabelul 7

$t, ^\circ\text{C}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
K_{t1}	10	7	4,67	3,3	2,25	1,0876	1	0,72	0,483	0,325	0,218	0,15	0,1	0,07
K_{t2}	3,16	2,68	2,14	1,75	1,44	1,22	1	0,85	0,72	0,59	0,485	0,392	0,333	0,276

Observații: K_{t1} — pentru înfășurările cu izolație clasă A; K_{t2} — pentru înfășurările cu izolație clasă B sau H.

dată valoarea ei, se va face o corecție după relația

$$R_{izol \text{ la } 40^\circ\text{C}} = \frac{R_{izol \text{ la } t}}{K_t} [M \Omega],$$

în care $R_{izol \text{ la } t}$ este rezistența de izolație măsurată la temperatura $t^\circ\text{C}$;

K_t — coeficientul de temperatură la $t^\circ\text{C}$.

Motoare asincrone cu rotorul bobinat. Rezistența de izolație standard a înfășurărilor rotorice cu izolație clasă A, B sau H la 75°C , măsurată cu megohmmetrul de 500 V, 60 s este dată de relația

$$R_{izol} = U_n' + 1 [M \Omega],$$

în care U_n' este tensiunea maximă indusă în înfășurarea rotorică, în kV.

Motoare sincrone. Rezistența de izolație minimă a înfășurării rotorice la 75° este

$$R_{izol} = 1 M \Omega,$$

măsurată cu megohmmetrul de 500 V, 60 s.

Pentru toate tipurile de mașini se precizează clasele de izolații: A — izolații organice (bumbac, hîrtie, mă-

tase) și email; B — izolații cu mică, micafoliu, fibre de sticlă, azbest; H — izolații cu lacuri siliconice.

Pentru motoare de tensiune înaltă și puteri mari, de construcții speciale, generatoare speciale sau generatoare sincrone mari se vor avea în vedere instrucțiunile fabricii constructoare unde se dau toate precizările necesare asupra valorilor minime admise ale rezistențelor de izolație.

1.5. Verificarea izolației lagărelor

Fusurile și cuzineții mașinilor electrice de curent alternativ (sau ale agregatelor constituite dintr-o serie de mașini) trebuie protejate față de curenții paraziți ce străbat lagărele. Această protecție foarte importantă se realizează printr-o izolare a unui lagăr față de placa de fundație după indicațiile fabricii constructoare.

Măsurarea rezistenței de izolație a lagărului se face în timpul montajului, lagărul avînd ansamblate toate conductele de ulei.

Pentru probe se folosește un megohmmetru de 1 000 V, iar valoarea rezistenței de izolație obținută se compară cu indicațiile din cartea mașinii sau cu rezultatele măsurărilor anterioare, deoarece nu se normează. În orice caz, pentru mașinile noi valoarea minimă a rezistenței de izolație este de $1\text{ M}\Omega$ (această valoare este de obicei mai mare ca $1\text{ M}\Omega$), iar pentru mașinile care au fost în exploatare $0,1\text{ M}\Omega$; la hidrogeneratoare $0,3\text{ M}\Omega$ și la turbogeneratoare $1\text{ M}\Omega$.

Măsurarea trebuie efectuată înaintea montării arborelui, altfel nu este posibilă decît cu măsuri cu totul speciale care sînt destul de dificile și pot modifica rezultatul real.

În timpul funcționării de rodaj și probe, izolația lagărului trebuie controlată. În practica verificărilor se folosește următoarea metodă ce dă bune rezultate. Se fac punți de contact între fiecare palier și arbore (pe acesta se va monta un contact alunecător — perie). Este necesară legarea directă a arborelui cu lagărul, deoarece în timpul funcționării mașinii filmul de ulei din lagăr produce o izolație între acesta și arbore, ceea ce face ca măsurările să fie eronate.

Avînd această pregătire făcută, cu un voltmetru de 3 sau 6 V se fac două măsurați de tensiune așa cum este arătat în fig. 2.

Verificarea izolației lagărului în funcțiune. La prima măsurarea se va citi valoarea V_1 , iar la o doua valoarea V_2 .

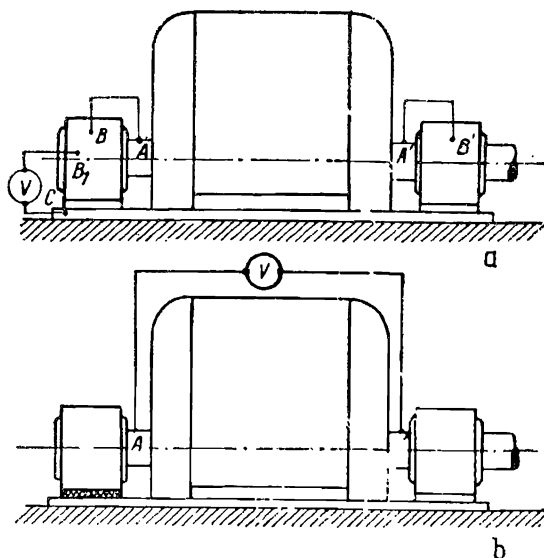


Fig. 2. Verificarea izolației lagărului în funcțiune:

a — între lagărul izolat și placa de fundație; b — între capetele arborelui mașinii.

În cazul în care cele două valori sînt egale ($V_1 = V_2$), rezultă că izolația lagărului față de masă este bună. În cazul în care ($V_1 \ll V_2$), valoarea V_1 este mult mai mică decît valoarea V_2 , rezultă că izolația lagărului este deteriorată și trebuie luate măsuri de îmbunătățirea ei.

Pentru a avea valori mai mari ale tensiunilor V_1 și V_2 (aceasta conduce și la o precizie mărită a citirilor), măsurarea se va face la o sarcină cît mai apropiată de valoarea nominală și practic constantă, întrucît valorile V_1 și V_2 variază mult cu sarcina.

La mașinile de turație mare, pentru a avea măsurări precise, este necesar ca voltmetrul folosit să aibă un consum mai mare (rezistența interioară $R_i[\Omega/V]$ mică). Rotorul se poate încărca electrostatic prin frecări și în cazul unor aparate cu consum mic sau foarte mic aceste sarcini pot crea curenți ce dau erori (aparatură va indica mai mult).

Dacă personalul de verificare nu posedă un astfel de aparat, se poate folosi un aparat cu o scală mai mare prin intermediul unui transformator cu raportul 3 sau 6 V/110

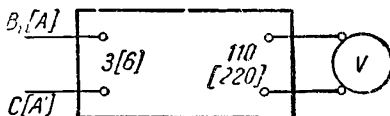


Fig. 3. Schemă de conectare a transformatorului pentru verificarea izolației lagărelor:

T — transformator 3(b)/110 (220) V

sau 220 V, de putere maximă 30—50 VA, pentru a nu avea un consum prea mare. Aparatură se conectează așa cum este reprezentat în fig. 3 la bornele cu tensiune mare ale transformatorului acesta fiind alimentat pe tensiune joasă de la punctele de măsură indicate în fig. 2.

1.6. Verificarea rezistenței de izolație a termorezistențelor montate în mașini

La mașinile electrice mari, pentru o exploatare corectă, este necesar să se urmărească variația încălzirilor în înfășurări și fier. În acest scop se folosesc termorezistențe care, montate în diferite puncte ale mașinii, trebuie să fie izolate față de înfășurări și față de masă.

Rezistența de izolație a termorezistențelor se măsoară cu megohmmetrul de 250 V, având legăturile către aparatură de măsurat desfăcute. Valoarea minimă a acestei rezistențe de izolație nu se normează, dar practic, la mașinile noi, aceasta este de 1 M Ω . În exploatare valoarea obținută se compară cu valorile anterioare.

1.7. Verificarea rezistenței de izolație a buloanelor de strângere a statorului

Pentru buloanele de strângere a statorului, măsurarea rezistenței de izolație se efectuează cu megohmmetrul de

500 sau de 1 000 V. Valoarea minimă admisă nu este normată, datele obținute comparându-se cu rezultatele măsurărilor anterioare sau conform indicațiilor de fabrică.

1.8. Încercarea rigidității dielectrice a izolației înfășurărilor

Încercarea rigidității dielectrice a înfășurărilor sau proba cu tensiune mărită a înfășurărilor (denumită astfel în instrucțiunile M.E.E.) se face după terminarea tuturor probelor de montaj și reglare care se execută înaintea pornirii de probă (pentru a nu se mai umbla la înfășurări, borne etc.).

Această încercare se execută în mod obligatoriu în fabrica care garantează funcționarea mașinii.

La locul de montaj încercarea cu tensiune mărită se execută numai dacă instrucțiunile de fabrică o prevăd ca obligatorie sau la cererea specialiștilor de montaj și a beneficiarului.

Conform STAS 1893-65, tensiunea de încercare trebuie să fie practic sinusoidală, cu $f=50$ Hz și se aplică izolației înfășurării care se încearcă față de masă la care s-au legat celelalte înfășurări ce nu se supun probei.

Valoarea inițială a tensiunii de încercare nu trebuie să depășească valoarea de $0,5 U_{nom \text{ încercare}}$, iar variația trebuie făcută cu reglaj continuu sau în trepte. Valorile de creștere a treptelor nu trebuie să fie mai mari de 5% din tensiunea de încercare.

Timpul de încercare este de un minut, iar valorile de încercare la fabrică sînt indicate în tabelul 8, conform STAS 1893-65.

Mașinile electrice de producție indigenă se încearcă după instalare și înainte de punerea în funcțiune, cu o tensiune egală cu 75% din cea indicată în tabelul 8 dar nu mai mică de 1500 V.

Pentru mașinile noi care au fost transportate demontate la locul de montaj, după ansamblare și uscăre se încearcă cu tensiune egală cu 75% din tensiunea de încercare la fabrică, iar pentru cele rebobinate la locul instalării, 85% din cea indicată în tabelul 8.

Tensiuni de încercare

Mașina sau organul	Tensiunea de încercare
Mașini rotative cu puteri mai mici ca 1 kW sau 1 kVA, $U < 24$ V	$2U_n + 500$ V
Mașini 1 kW (1 kVA) $< P < 10$ MW (10 MVA)	$2U_n + 1\,000$ V minimum 1 500 V
Mașini rotative $\geq P$ 10 MW (10 MVA) $U_n \leq 2\,000$ V $2\,000 < U_n \leq 6\,000$ V $6\,000 < U_n \leq 16\,500$ V $U_n > 16\,500$	$2U_n + 1\,000$ V $2,5 U_n$ $2U_n + 3\,000$ V Conform acord fabrică be- neficiar
Înfășurări de excitație separate la ma- șini de c.c.	$2U_n + 1\,000$ V minimum 1 500 V
Înfășurări excitație generatoare sincrone	$10U_{n\,ex}$ $U_{inc.\,min} = 1\,500$ V $U_{inc.\,max} = 3\,500$ V
Înfășurări de excitație ale motoarelor sincrone și comutatorice: — Mașina pornește cu înfășurarea de excitație în scurtcircuit sau închisă pe indusul unei excita- toare sau pornește cu înfășurările de curent alternativ deconectate — Mașina pornește cu o rezistență în serie cu înfășurarea de exci- tație sau cu înfășurarea de exci- tație în circuit deschis cu sau fără divizor de cîmp	$2U_n + 1\,000$ V minimum 1 500 V $2U_{ef\,max.} + 1\,000$ V $U_{ef\,max.}$ valoarea maximă a tensiunii efective la por- nirea, la bornele înfășurării sau secțiunii, minimum 1 500 V
Înfășurări rotorice de motoare asin- crome sau asincrone sincronizate, ne-	

Tabelul 8 (continuare)

Mașina sau organul	Tensiunea de încercare
scurtcircuitare în mod permanent (pornire cu reostat) — motoare nereversibile sau reversibile din repaus — motoare ce pot fi inversate sau frânate inversând alimentarea chiar din mers	$1\,000\text{ V} + 2U_{sec}$, în circuit deschis cu mașina în repaus măsurată la inele la U_n în primar $1\,000\text{ V} + 4U_{sec}$ în circuit deschis cu mașina în repaus, măsurată la inele la U_n în primar.
Excitatoare, exceptând cele de mai jos — excitatoare motoare sincrone când sînt puse la pământ sau deconectate de înfășurare la pornire — înfășurare de excitație separată ale excitatoarelor	Ca și înfășurările la care se conectează $1\,000 + 2U_{n\,ex}$ minimum $1\,500\text{ V}$ $2U_n + 1\,000\text{ V}$, minimum $1\,500\text{ V}$
Grup de mașini și de aparate asamblate	Încercarea în grup instalate și conectate împreună, fiecare a fost încercat, tensiunea de încercare maxim $0,85 U_n$ cea mai joasă aplicabilă unei mașini sau aparat

Încercarea cu tensiunea mărită a înfășurărilor este legată strîns de verificarea izolației înfășurărilor, întrucît aceasta se poate efectua numai dacă sînt respectate condițiile minime de izolație indicate mai sus. Această probă se execută indiferent dacă înfășurarea este caldă sau rece.

Este indicat ca această încercare să se facă imediat după verificarea izolației, deoarece în caz contrar, înainte probei cu tensiune mărită, trebuie verificată din nou rezistența izolației.

Timpul de creștere a tensiunii de încercare de la $0,5$ la valoarea prescrisă trebuie să fie de minimum 10 s .

După trecerea timpului de încercare, reducerea tensiunii de încercare trebuie să se facă treptat pînă la o valoare de maximum $1/3$ din valoarea de încercare sau $1/2$ dacă s-a început cu aceasta, după care se poate deconecta brusc instalația.

Schema unei instalații de încercare este indicată în fig. 4.

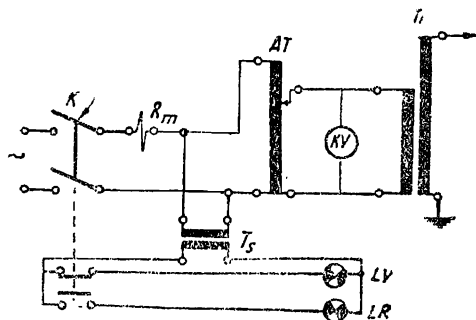


Fig. 4. Schema instalației de încercare cu tensiune mărită:

K — întrerupător automat; R_m — releu de protecție; AT — autotransformator de reglaj; T_j — transformator de încercare; kV — kilovoltmetru de măsurat; TS — transformator pentru semnalizare; LV , LR — lămpi (verde și roșie) de semnalizare; kV — voltmetru gradat în kV .

La mașinile electrice de curent alternativ care nu au borne la ambele capete ale înfășurării fiecărei faze, încercarea izolației cu tensiune mărită față de corp se execută pentru întreaga înfășurare statorică.

Alimentarea transformatorului de încercare se face cu tensiune joasă reglată continuu printr-un autotransformator sau un grup special în instalațiile fixe și importante.

Tensiunea de încercare se măsoară cel mai corect cu un transformator de măsurat montat pe partea de tensiune înaltă. În mod normal măsurarea se face pe partea de tensiune joasă neglijând căderea de tensiune datorită sarcinii și erorile de transformare. Este indicat ca voltmetrul să fie gradat direct în kilovolți. Instalația este prevăzută cu o protecție la supracurenți pentru a proteja

transformatorul în cazul apariției de străpungeri ale izolației de încercat.

Instalația trebuie să asigure o manevrare ușoară și condiții de siguranță personalului operativ.

Instalația de încercare este indicat să fie alimentată cu tensiune între faze ale transformatorului de alimentare, deoarece alimentarea cu fază și nul creează posibilitatea apariției unor puternice componente armonice.

Rezultatele încercării sînt considerate satisfăcătoare dacă izolația nu a fost străpunsă și nu au avut loc conturnări, dacă aparatele de măsurat au funcționat normal și fără șocuri (șocurile pot indica deteriorări parțiale ale izolației). După terminarea încercării, înfășurările încercate se pun la pămînt și apoi se vor măsura din nou rezistențele de izolație (R_{60}) pentru fiecare înfășurare.

1.9. Încercarea rigidității dielectrice a izolației dintre spirele înfășurărilor

Date fiind condițiile de care se dispun în instalațiile unde s-au montat mașinile electrice, această probă se poate executa la motoare, dar este indicat să se facă și la generatoare. Această încercare completează încercarea cu tensiune alternativă mărită a înfășurărilor și de foarte multe ori o înlocuiește.

Practic, încercarea se face la punerea în funcțiune a generatorului, o dată cu ridicarea caracteristicii de mers în gol. Se realizează o creștere a tensiunii pînă la $1,3 U_n$ (conform STAS 1893-65) prin creșterea excitației sau combinat creșterea excitației și a turației pînă la 15 % peste turația nominală și se menține timp de 5 min. După această tensiunea se reduce treptat.

Pentru turbogeneratoare sau mașini de construcție similară creșterea tensiunii se va face numai prin creșterea excitației. Pentru hidrogeneratoare va fi de $1,5 U_n$.

În cazul generatoarelor de curent continuu creșterea cu 30 % a tensiunii se face pentru mașini cu cel mult patru perechi de poli. Pentru generatoarele cu mai mulți poli creșterea tensiunii poate fi făcută pînă la 30 % peste U_n numai dacă tensiunea la colector între două lamele alăturate nu depășește 24 V.

Dacă se obține între două lamele alăturate o tensiune peste 24 V, creșterea tensiunii se va face pînă la obținerea acestei valori.

Toate aceste încercări trebuie făcute cu foarte multă atenție de personal calificat special, cu stricta respectare a NTS urmărind în permanență funcționarea și comportarea mașinii.

1.10. Măsurarea rezistențelor înfășurărilor

Rezistențele înfășurărilor mașinilor electrice se măsoară în curent continuu prin metoda voltmetru-ampermetru sau cu puntea (Wheatstone sau Thomson) în funcție de mărimea valorii de măsurat. Măsurarea rezistențelor înfășurărilor, conform instrucțiunilor, M.E.E., este necesară deoarece se pot stabili următoarele:

— Integritatea înfășurării măsurate și compararea valorilor obținute cu datele din buletinul sau cartea mașinii.

— Valoarea rezistențelor înfășurărilor cînd acestea nu se cunosc, pentru a avea date de comparație în exploatare (la verificări periodice sau în cazul unor defecte).

Aceste valori se folosesc în calcule și la reglarea schemelor de comandă complexe în cazul unor mașini speciale.

— Depistarea unor legături slabe sau întreruperi în înfășurări, survenite în timpul transportului ori al montajului, în special la mașinile ce se montează la locul de utilizare.

La măsurarea rezistențelor trebuie înregistrată temperatura elementelor de măsurat. Este indicat ca măsurările să se facă la mașini în stare rece.

Cînd măsurarea se face la o temperatură a înfășurărilor mult diferită de cea la care a fost făcută de fabrică, pentru precizia rezultatelor se poate face corecția de temperatură a rezistenței.

Conform STAS 1893-65 relația folosită la calculul încălzirii bobinajului rezultînd din variația rezistenței este

$$t_2 - t_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \left(t_1 + \frac{1}{\delta} \right) + t_1 - t_a.$$

În această relație s-a notat:

t_1 — temperatura bobinajului în momentul măsurării inițiale la rece, în °C;

t_2 — temperatura bobinajului la măsurarea dată, în °C,

t_a — temperatura ambiantă la măsurarea dată, în °C;

R_1 — rezistența înfășurării în stare rece, în Ω ;

R_2 — rezistența înfășurării la temperatura t_2 °C, în Ω ;

$\frac{1}{\delta}$ — constantă de material avînd pentru cupru valoarea

235, iar pentru aluminiu 245.

Din relația de mai sus rezultă:

$$R_2 = R_1 \frac{t_2 + \delta}{t_1 + \delta} [\Omega]$$

și dacă se notează cu $t_2 - t_1 = \Delta t$ sau $t_2 = t_1 + \Delta t$, rezultă

$$R_2 = R_1 \left(1 + \frac{\Delta t}{t_1 + \delta} \right) [\Omega].$$

În concluzie, avînd valoarea R_1 la t_1 din buletinul sau cartea mașinii se poate calcula R_2 pentru t_2 la care s-a efectuat măsurarea și să se compare cu valoarea R_2 efectiv măsurată.

La măsurări prin metoda voltmetru-ampermetru se pot folosi montajele aval și amonte ca în fig. 5, *a* și *b*, funcție de mărimea rezistenței de măsurat. Pentru rezistențe de valori mici se folosește montajul aval, iar pentru cele cu valori mari, montajul amonte.

Cunoscînd caracteristicile aparatelor folosite (rezistențele interne), se pot face corecțiile de valoare conform relațiilor:

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{r_v}} [\Omega]$$

pentru montajul aval, în care U și I sînt valorile citite pe aparate, iar r_v este rezistența interioară a voltmetrului;

$$R_x = \frac{U - I r_a}{I} [\Omega]$$

pentru montaj amonte, în care r_a este rezistența interioară a ampermetrului.

În cazul unor măsurări la mașini importante, aparatele folosite trebuie să fie de clasă 0,5. Nu se vor face corecțiile citirilor aparatelor după curbele de erori.

În cazul metodei voltmetru-ampermetru se vor considera ca rezultate valoarea medie pentru:

— cinci măsurări la înfășurări statice și rotorice în stare rece, la mașinile sincrone mari;

— trei măsurări în restul cazurilor.

Pentru mașinile trifazate care au conexiunea fazelor bobinajului în stea, rezistența unei faze a înfășurării se calculează după relația

$$R_f = \frac{R_m}{2}$$

în care s-a notat cu R_m valoarea rezistenței măsurată între bornele a două faze. În cazul conectării în triunghi, rezistența pe fază se calculează cu relația

$$R_f = \frac{3}{2} R_m$$

în care s-a notat cu R_m valoarea medie aritmetică a rezultatelor celor trei măsurători între faze.

În cazul măsurărilor cu puntea se va ține seama de inductivitatea mare a înfășurărilor și deci se va lăsa timp suficient pentru încărcare evitînd în felul acesta erorile de măsurare; se va ține aparatul conectat pînă cînd nu se vor mai observa deviații ale acului galvanometrului cel puțin 30 s.

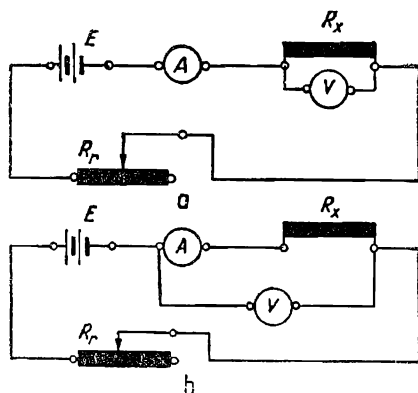


Fig. 5. Scheme pentru măsurarea rezistențelor:

a — schema aval; b — schema amonte;
 R_x — rezistența de măsurat; R_r — reostat de reglaj.

În fig. 6, *a* și *b* sînt date schemele de legături pentru măsurarea rezistențelor cu puntea tehnică Wheatstone sau Thomson.

Valorile obținute din măsurări pe toate fazele în aceleași condiții, nu trebuie să difere cu mai mult de 2%, între ele.

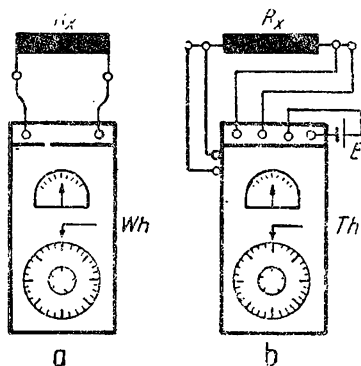


Fig. 6. Scheme pentru măsurarea rezistențelor cu puntea:
a — cu puntea Wheatstone; *b* — cu puntea Thomson.

La aceste măsurări trebuie avut în vedere inductivitatea mare a unor înfășurări (înfășurările derivație ale mașinilor de c.c., înfășurările inductoare ale mașinilor sincrone etc.) pentru a lua măsuri de protecție a personalului ce execută măsurarea, cum și a aparatelor, la deconectarea circuitului, deoarece pot apărea supra-tensiuni periculoase.

La mașinile sincrone o dată cu măsurarea rezistențelor se vor măsura și rezis-

tențele reostatelor sau rezistențelor de descărcare. Valorile rezistențelor obținute prin măsurare nu trebuie să difere cu mai mult de 10% față de valorile date de fabrica constructoare.

2. Pornirea mașinilor electrice

De la început trebuie făcută distincția între pornirea motoarelor (indiferent de tip și mod de pornire) și a generatoarelor electrice (acestea sînt antrenate de un motor primar). Această distincție apare datorită solicitărilor diferite care se exercită asupra înfășurărilor la motoare sau la generatoare și în consecință pregătirea și execuția primelor porniri este diferită. Se impune deci a se lua în

considerare fiecare caz în parte, ținînd seama de regulile practice stabilite la efectuarea probelor de pornire.

Trebuie avute în vedere și cazurile cînd există instrucțiuni speciale de pornire sau este prezent un specialist din partea firmei constructoare.

În aceste cazuri probele de pornire se fac conform cu indicațiile date completînd după necesitate cu cele indicate mai jos.

2.1. Pornirea motoarelor

Prima probă de pornire a unui motor se face după terminarea tuturor lucrărilor de montaj, reglare și verificare, electrice și mecanice efectuate asupra lui individual sau cu mecanismul pe care îl antrenează în cazul cînd nu este posibilă decuplarea.

Practic s-a convenit ca toate motoarele de putere medie și mare să se pornească întii în gol fără utilajul antrenat pentru a se observa funcționarea corectă la mersul în gol.

Prima probă de pornire trebuie pregătită atent fiind necesare următoarele lucrări pregătitoare înaintea aplicării tensiunii:

- Să se obțină încuviințarea de pornire din partea montorilor mecanici și a celor care au efectuat revizia.

- Să se facă un control mecanic foarte atent al funcționării conform celor arătate la paragraful 1.3.

- În cazul cînd verificarea rezistenței de izolație a fost făcută în urmă cu mai mult de 24 h se reface pentru întreg ansamblu de circuite primare.

- Se verifică dacă protecțiile aferente au fost reglate corect, iar schema de comandă, protecție și semnalizare funcționează corect.

- Pentru porniri în trepte cu instalație automată, releele de accelerare se fixează astfel încît să se evite scurtcircuitarea rezistențelor de pornire și se controlează funcționarea schemei.

Se controlează dacă este asigurată măsurarea curenților de pornire, dacă circuitele de măsurat sînt închise, iar în cazul cînd schema nu prevede aparate de măsurat, dacă se consideră necesar, se vor monta (ampermetru cu reductor sau clește ampermetru).

Rezultă că la primele porniri trebuie acordată o mare atenție normelor tehnice și N.T.S.

Pentru unitățile importante este indicat să se observe, de către mai multe persoane, funcționarea diverselor elemente din schemă (întrerupător automat, motor, autotransformator, reostat etc.), iar în cazul unor funcționări neconforme, deranjamente sau avarii să se asigure deconectarea imediată. În funcție de unitatea care se pornește trebuie asigurată declanșarea normală a întrerupătorului principal sau a primului întrerupător superior spre sursă, la deranjamentele ce pot apărea pentru a evita extinderea avariei (arderea siguranțelor circuitului de comandă, sudarea contactelor întrerupătorului, blocarea mecanismului de anclanșare, blocarea protecției etc.).

Prima cuplare se face sub forma de șoc, creînd posibilitatea de accelerare și frînare. În aceasta prima probă se observă starea părților în mișcare, comportarea lor la accelerare, sensul de rotire, curenții absorbiți la pornire și funcționarea protecției, funcționarea schemei de comandă și semnalizare, siguranța în funcționare.

În cazul în care nu s-au observat neregularități în funcționare, se repetă 2—3 porniri și opriri marind timpul de lucru pentru a ne asigura că funcționarea este normală și sigură.

Posibilitatea conectării la șoc, trebuie studiată cu foarte mare atenție, întrucît sînt destule cazuri în care nu se poate face. În cazul unităților mari și importante declanșarea întrerupătorului în timpul pornirii este periculoasă deoarece se rup curenții mari de pornire. În aceste cazuri o deconectare la pornire presupune oprirea instalației și revizuirea întrerupătorului automat. Rezultă că în asemenea cazuri comanda de declanșare, în afara cazurilor absolut necesare, se va da după scaderea curentului de pornire sub o anumită valoare nepericuloasă.

Dacă funcționarea în timpul pornirii este sigură, și în ansamblu nu se observă anomalii, se poate trece la proba funcționării de durată (rodaj) de cel puțin patru ore.

În toată această perioadă se vor controla: lipsa vibrațiilor, ungerea normală, presiunea uleiului, încălzirea diverselor părți ale mașinii, funcționarea stabilă sincronă în regim supra și subexcitat la motoare sincrone, comutația

la colector pentru motoarele de curent continuu și funcționarea excitatoarelor motoarelor sincrone, funcționarea perilor, reostatul de reglarea turației, reostatele rotorice în trepte la motoarele asincrone, comutatoarele de poli etc.

În cazul în care există posibilitatea, se va face o verificare și cu turații diferite față de cea nominală, în special la motoarele de curent continuu și cele asincrone cu turație reglabilă.

Această verificare se face pentru a urmări comportarea mecanică și obținerea turațiilor diferite, stabilitatea în funcționare, funcționarea aparatului de reglaj în timp.

În mod normal temperatura rulmenților nu trebuie să depășească 30—40°C în perioada de rodaj.

Creșterea maximă admisibilă a temperaturii rulmenților este de 95°C la temperatura mediului ambiant de 35°C.

Simultan cu celelalte măsurări se va verifica și vibrația motorului.

Măsurarea vibrațiilor se face de obicei pe trei direcții perpendiculare: orizontală axială, orizontală transversală și verticală.

Primele două măsurări se fac la nivelul axei arborelui, iar vibrația verticală pe capacul lagărului.

În cazul mașinilor cu turație reglabilă, vibrațiile se măsoară atât pentru turația normală (de regim), cât și pentru turația maximă.

Este indicat de asemenea, în cazul mașinilor mari, ca determinările vibrațiilor să se facă atât în gol, cât și la plină sarcină.

În cazul unor mașini mari cu turație pînă la 500 rot/min măsurarea vibrațiilor se poate face cu comparatorul. Pentru viteze de rotații mari vibrațiile se măsoară cu vibrometre sau vibrografe.

Pentru măsurarea vibrațiilor orizontal-transversale știftul vibrometrului se sprijină pe capul lagărului în apropierea liniei axei orizontale, astfel încît axul știftului să fie perpendicular pe axul arborelui. În cazul măsurării vibrației orizontale axiale știftul se sprijină pe capătul frontal al lagărului axa lui fiind paralela cu axa arborelui.

Pentru măsurarea vibrației verticale, știftul vibrometrului se va sprijini de partea superioară a capacului lagărului avînd axa perpendiculară pe axa arborelui.

Valorile maxime admise ale vibrațiilor pentru mașinile electrice montate corect sînt indicate de firmele constructoare pentru fiecare tip în parte în cartea mașinii sau în normele de fabricație.

În tabelul 9 se dau valori maxime admise pentru diferite tipuri de mașini.

Cunoscînd că vibrațiile mărite au o influență dăunătoare asupra siguranței în funcționare a mașinilor și mecanismelor, în cazul apariției unor vibrații peste cele maxime admise se vor căuta cauzele ce le produc pentru a le elimina.

Dintre cauzele cele mai frecvente ce pot duce la vibrații mari se enumeră: fixarea slabă a tălpilor, rigiditate necorespunzătoare a fundației, funcționarea necorespunzătoare a rulmenților, deteriorarea contactelor în înfășurarea rotorică, la inelele de contact sau de scurtcircuitare, centrare neprecisă, rotorul neechilibrat, intervalul dintre arbore și cuzineți prea mare sau prea mic, asimetrie magnetică și altele.

Dacă rezultatele obținute în urma probelor de pornire și reglaj în gol sînt corespunzătoare, se poate trece la cuplarea mecanismului și efectuarea de probe în sarcină cu întreg agregatul.

2.2. Pornirea generatoarelor

Măsurile pregătitoare probelor de pornire sînt aceleași ca și la motoare atît pentru motorul primar (de antrenare), cît și pentru generator.

Prima probă de pornire se face avînd excitația deconectată și cu o creștere lentă a turației pînă la valoarea nominală. În timpul creșterii turației, se urmărește funcționarea fără vibrații, încălzirea, ventilația, ungerea lagărelor presiunea de ulei etc.

În funcție de tipul motorului primar (motor electric cu reglaj de turație, turbină, motor Diesel) și conform instrucțiunilor fabricii constructoare, se face și o verificare la supraturatie.

La generatoarele sincroane se verifică cu această ocazie funcționarea protecțiilor speciale de supraturatie.

Vibrații admisibile la motoare

A. Mașini sincrone

Turația, rot/min	750	1 000	1 500	3 000
Vibrația maximă admisă, mm	0,12	0,1	0,07	0,05

B. Mașini de curent continuu

Turația, rot/min	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	4 000	5 000
Vibrația maximă admisă, mm	0,1	0,09	0,075	0,06	0,05	0,03	0,02

C. Motoare asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit.

Bătaia radială maximă admisă la cap de arbore.

Pentru $n=3\,000$ rot/min și $n=1\,500$ rot/min	P, kW	0,6 ... 1,1	1,5 ... 4	5,5 ... 30	4...100 kW
	mm	0,035	0,04	0,05	0,06 mm
Pentru $n=1\,000$ rot/min	P, kW	0,8 ... 2,2	3 ... 22	30 ... 75	
	mm	0,04	0,05	0,06	
Pentru $n=750$ rot/min	P, kW	1,1 ... 1,5	2,2 ... 17	22 ... 55	
	mm	0,04	0,05	0,06	

D. Motoare asincrone trifazate cu inele, pentru macarale.

Bătaia radială maximă admisă pe cap de arbore, pentru $n=600$; 750; 1 000 rot/min.

$P = 3 \dots 23$ kW	$\delta = 0,05$ mm	$P = 32 \dots 60$ kW	$\delta = 0,06$ mm
---------------------	--------------------	----------------------	--------------------

Pentru unitățile importante se ridică cu această ocazie caracteristica de oprire $n=f(t)$ (turația funcție de timp de la $n=n_n$ la $n=0$), prin oprirea antrenării.

Următoarea pornire se face cu excitația în funcțiune, verificându-se: funcționarea reglajului excitației, comutația în gol la colectorul principal pentru generatoarele de c.c., comutația în gol la excitatoare pentru generatoarele sincrone, corespondența polarității generatorului de c.c. cu polaritatea barelor, succesiunea fazelor și corespondența sensurilor de câmp cu barele pentru generatoare de sincrone etc.

Tot în timpul funcționării în gol se face și ridicarea caracteristicilor și încercarea izolației între spire prin supraexcitare, cum și funcționarea de durată la tensiunea maximă de lucru.

3. Verificările mașinilor de curent continuu

3.1. Verificarea părții mecanice

La mașinile de curent continuu se va face un control al părții mecanice, plus verificarea stării colectorului.

Suprafața colectoarelor mașinilor noi nu trebuie să aibă zgîrieturi, umflături, lamele denivelate și să fie bine șlefuite. Se verifică bătaia colectorului care nu trebuie să depășească valorile maxime indicate în tabelul 10.

Tabelul 10

Bătăi admisibile ale colectoarelor

Diametrului colectorului, mm	Sub 250	250—500	Peste 500
Bătaia δ , mm	0,03	0,04	0,05

Pentru mașinile care au fost în exploatare, colectorul trebuie șlefuit numai dacă este ars mult sau periile scintilează, deoarece șlefuirea distruge pelicula lustruită și grăbește uzura colectorului.

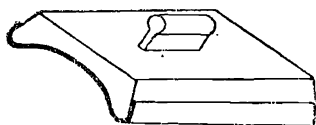


Fig. 7. Formă de lemn pentru șlefuirea colectorului.

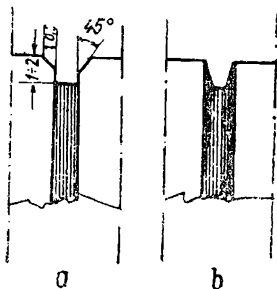


Fig. 8. Canelarea izolației între lamelele colectorului:

a — adâncime corectă; b — adâncime incorectă.

Șlefuirea colectorului se face cu hirtie sticlă foarte fină fixată pe o bucată de lemn tăiată cu o curbură după forma colectorului (fig. 7).

În cazul mașinilor noi se va controla dacă izolația dintre lamele este canelată pe o adâncime de 1—2 mm, iar marginile lamelor teșite la aproximativ 45° așa cum se arată în fig. 8, a.

3.2. Verificarea așezării periilor pe colector

Așezarea periilor pe colector trebuie verificată conform desenului de fabrică sau a instrucțiunilor existente. Pentru cazul general, la verificarea mașinilor se mai fac unele recomandări:

— Periile fiecărei tije-suport trebuie să se poată deplasa în lungul axului mașinii așa cum este reprezentat schematic în fig. 9.

Această așezare se realizează pentru ca la comutație să fie folosită întreaga suprafață a colectorului cu periile aceleiași tije în linie (a) sau deplasate între ele (b). Periile pozitive și cele negative uzează neuniform colectorul și ca

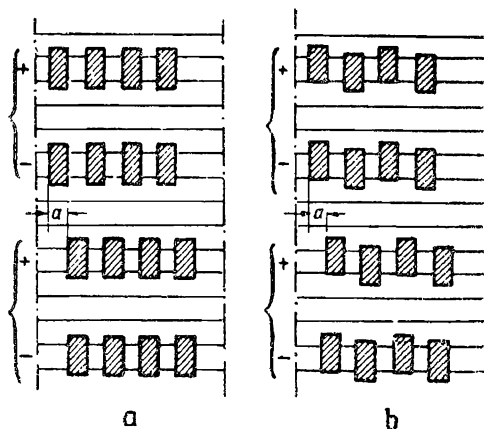


Fig. 9. Așezarea periiilor pe colector:
a — în linie; b — deplasate.

urmare este necesar ca periile a două tije alăturate, de semne contrare, să funcționeze în linie pe aceeași urmă, iar periile următoarelor două tije pe o altă urmă, așa cum este reprezentat în fig. 9.

În cazul mașinilor cu număr mare de poli, lungimea colectorului este insuficientă în care caz periile sînt montate cu o deplasare mai mică. Rezultă că deplasarea periiilor a este funcție de tipul mașinii avută în vedere.

De asemenea așezarea periiilor trebuie făcută astfel încît, în cazul deplasării axiale maxime a rotorului, acestea să nu depășească canalul colectorului spre bobinaj, să atingă stegulețele sau să iasă de pe colector.

În fig. 9, b este reprezentat un mod de amplasare a periiilor, folosit la unele mașini mari pentru mărirea zonei de comutație. Această așezare duce și la îmbunătățirea comutației.

Așezarea portperiiilor trebuie să fie astfel făcută încît periile să fie riguros paralele cu lamelele de colector și

distanța între marginile lor de fugă să fie egală cu pasul polar măsurat la colector. Abaterea maximă admisă de la valoarea medie a pasului polar este de 2% pentru mașini pînă la 200 kW și de 0,5% pentru mașini mai mari de 200 kW. Nerespectarea acestei condiții înrăutățește puternic comutația, iar periile vor scindeia datorită scurtcircuitării spirelor care sînt puțin deplasate din poziția neutră.

Pentru montarea corectă a periilor trebuie să se pună pe colector, sub perii, o bandă de hîrtie care a fost în prealabil divizată într-un număr de porțiuni corespunzător numărului de grupe de perii. Această metodă permite să se obțină o distanță egală între perii cu o precizie suficientă pentru funcționarea normală a mașinii.

Cînd distanțele dintre două grupe de perii pe colector care urmează în sensul rotirii nu sînt egale, se admit ca diferențe:

- | | |
|---|----------|
| — pentru mașini foarte mari | 0,50%; |
| — pentru mașini cu $P > 200$ kW | 1,5—2 %; |
| — pentru mașini cu $50 \text{ kW} < P < 200 \text{ kW}$ | 3—4 %; |
| — pentru mașini cu $P < 50$ kW | 5 %. |

Nu se recomandă verificarea montării corecte a periilor din grupe alăturate pe circumferința colectorului în funcție de numărul lamelor de colector cuprinse între laturile de fugă ale periilor, deoarece în acest caz pot apărea erori mari.

Casetele portperiilor trebuie să fie montate astfel încît distanța b (fig. 10), de la perie la suprafața colectorului, să fie cuprinsă între următoarele valori:

- 2,5...4 mm pentru mașini mari;
1,5...2,5 mm la mașini mici.

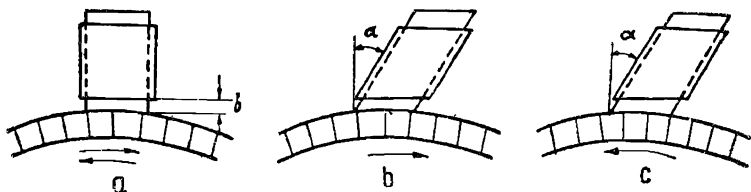


Fig. 10. Montarea periilor pe colector:

a — radial, corect; b — înclinat corect; c — înclinat, incorect.

În cazuri speciale această valoare poate fi și de 1 mm.

Montarea corectă a periiilor se face conform fig. 10, a și b după tipul de portperie radială sau înclinată și sensul de rotație. În fig. 10, c este arată o montare incorectă a periei înclinate la 30° față de sensul de rotație.

Ca regulă generală, o perie înclinată cu 30° — 40° este montată corect dacă unghiul ascuțit al poziției ei față de suprafața colectorului este îndreptat în sens invers sensului de rotație. Acest unghi se numește unghi de atac în cazul când înclinarea are valorile 30° ... 40° .

Portperiiile înclinate cu circa 15° se montează corect, în așa fel încât unghiul ascuțit al periei să fie îndreptat în sensul de rotație al colectorului. În acest caz unghiul se numește unghi de fugă.

— Periiile trebuie să se deplaseze liber în casete, dar să nu aiba jocuri prea mari. Între perii și casetă spațiul normal este de 0,1—0,4 mm, în sensul de rotație și de 0,2—0,5 mm în sens transversal.

— Presiunea asupra periei, dată de degetul de apăsare, corespunde unei anumite presiuni specifice ce este funcție de marca și dimensiunile periei. Pentru evitarea repartizării neuniforme a curentului în perii, presiunea pe diferite perii nu trebuie să difere cu mai mult de 10% din valoarea presiunii medii. Verificarea presiunii periei pe colector se face cu dinamometrul fixat de degetul de apăsare al portperiei, așa cum este reprezentat în fig. 11.

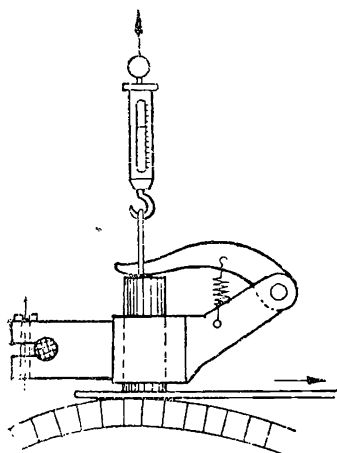


Fig. 11. Verificarea presiunii periei pe colector, cu dinamometrul.

Se așază între perie și colector o foaie de hîrtie și se ridică treptat dinamometrul. În momentul în care hîrtia poate fi scoasă ușor, indicația dinamometrului va corespunde presiunii periei pe colector.

Valoarea presiunii specifice, în gf/cm^2 , depinde de clasa și tipul periei. Pentru principalele clase de perii fabricate la noi în țară caracteristicile sînt arătate în tabelul 11.

Tabelul 11

Caracteristicile claselor de perii

Clasa	Tip	Simbol	Presiune specifică gf/cm^2	Densitate de curent A/cm^2	Rezistivitatea $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	Căderea de tensiune V
I	Carbon-grafit	K	200—250	6—8	21—54	1,5—2,5
II	Grafrit	G	150—250	7—11	10—37	1,5—3,2
III	Electrografit	EG	150—400	9—12	10—50	1,6—3,5
IV	Metal-grafit	M	150—250	15—20	0,012—9	0,1—2,2

În cazul unor perii de altă fabricație cărora nu li se cunosc caracteristicile, se vor lua următoarele valori pentru presiunea specifică:

- mașini industriale 180...210 gf/cm^2 ;
- mașini cu suprasarcini
frecvente 210...280 gf/cm^2 ;
- motoare de tracțiune
și motoare de putere
foarte mică 210...450 gf/cm^2 .

Respectarea valorilor prescrise pentru forța de apăsare are ca urmare valori minime de pierderi în contactul alunecător și o uzură scăzută a periei și a suprafețelor metalice de contact.

Se va controla să nu fie perii care calcă în afară de colector sau conductoare din lițe de cupru care să atingă stegulețele indusului.

Periile trebuie șlefuite ca să adere foarte bine pe suprafața colectorului sau a inelelor colectoare. Cînd nu există un dispozitiv special, pentru șlefuirea periilor se folosește hîrtie sticlă de granulație medie așezată pe colector cu suprafața de lucru către perii și se șlefuieste prin mișcare de du-te-vino ca la în fig. 12, a. Nu se admite folosirea pînzei abrazive sau a carborundului pentru șlefuire. Mar-

ginile periei nu trebuie știrbite, deoarece aceasta va duce la scînteiere la muchii în timpul funcționării.

Pentru finisarea șlefuirii se va folosi hîrtie sticlă cu granulație mai fină.



Fig. 12. Șlefuirea periilor cu hîrtie sticlă:

a — corectă; b — incorectă

După șlefuire, colectorul, periile, portperiile și capetele de înfășurare trebuie curățate cu aer de praf de carbune și de granulele de sticlă. Este bine să se folosească aspiratorul de praf, deoarece nu provoacă împrăștierea prafului în mașină ca în cazul sulfării.

Așezarea periilor pe axa neutră. Așezarea corectă a periilor pe axa neutră a mașinilor electrice este foarte importantă, deoarece această poziție determină obținerea parametrilor optimi și reduce scînteierea. Astfel, la motoare se asigură cuplul maxim, iar reacția indusului este minimă, la generatoare se obține tensiunea maximă și în această poziție periile scurtcircuitează secții de înfășurare aflate în afara polilor principali, fapt necesar pentru asigurarea comutației fără scînteiere.

În practică se folosesc diferite metode pentru verificarea poziției periilor în raport cu axa neutră:

- metoda inducției;
- metoda turației minime a motorului;
- metoda tensiunii minime a generatorului;
- metoda autoexcitării de la magnetismul remanent, la scurtcircuit.

Folosită practic și comodă este metoda inducției, deoarece permite determinarea cu precizie a poziției periilor în axa neutră, mașina fiind în repaus. Se realizează montajul din fig. 13, alimentînd bobinajul de excitație în curent continuu de la o baterie de acumulate de 2—6 V.

Este posibilă și alimentarea de la rețeaua de curent continuu existentă. În acest caz valoarea reostatului de reglaj R , trebuie să fie mare pentru ca pe înfășurarea de

excitație să se aplice o tensiune de cel mult 6 V, iar curentul prin bobină să fie cel mult $5 \dots 10/i_{n\text{ ex}}$. Această măsură este necesară a fi luată pentru a se preveni străpungera bobinajului datorită supratensiunilor ce apar la deconectarea bobinajului. La alimentarea din baterie pentru reostatul R_r , este satisfăcătoare valoarea de 5 000 Ω .

La perii se racordează un voltmetru magnetoelectric de maximum 3 V, dacă este posibil cu zero la mijlocul scalei și cu mai multe trepte de sensibilitate.

Prin conectarea și deconectarea bobinajului de excitație cu întrerupătorul K în bobinajul rotoric se induce o tensiune electromotoare, iar acul aparatului va devia într-o parte sau alta funcție de poziția periiilor în raport cu axa neutră. În cazul în care periiile se află pe axa neutră, tensiunea electromotoare este practic nulă.

În cazul existenței unei tensiuni la perii, crucea port-periilor se va deplasa prin rotire pînă în momentul cînd la conectarea și deconectarea bateriei deviațiile aparatului vor fi foarte mici sau chiar nule. Aceasta este poziția corectă a periiilor. Din practică s-a constatat că este mai comod să se observe deviațiile acului în momentul deconectării, deoarece în acest caz se obțin amplitudinile cele mai clare.

Se recomandă ca verificarea poziției brațului să se facă și în alte poziții ale rotorului care trebuie învîrțit în sensul normal, pentru a evita o influență eventuală pe care o pot avea deplasările periiilor în casete asupra indicațiilor aparatului.

În mod obișnuit pentru mașinile noi axa neutră nu se stabilește, ci numai se verifică.

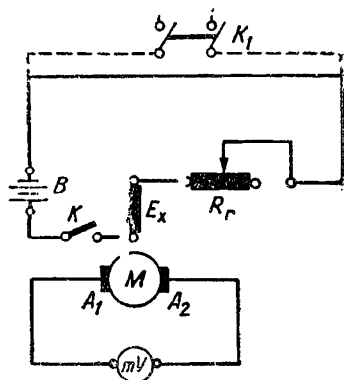


Fig. 13. Schemă pentru determinarea axei neutre prin metoda inducției.

În fig. 14 sînt date curbele de variație a curentului și forței electromotoare obținute prin oscilografierie în cazul a două valori diferite ale deplasării periiilor din axa neutră pentru a ilustra mai bine influența deosebită pe care o are.

În cazul mașinilor care au fost demontate pentru transport sau din alie motive, se recomandă ca la determinarea axei neutre a periiilor să se respecte următoarea succesiune de operații:

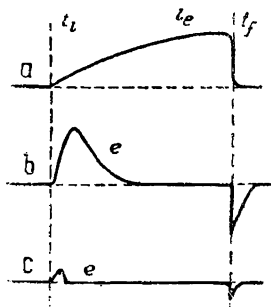


Fig. 14. Diagramele de variație ale curentului și tensiunii la perii, pentru deplasări față de axa neutră:

a — variația curentului de excitație i_e în înfășurare, între tipul de închidere (t_i) și timpul final de deschidere (t_f); b — variația t.e.m. la perii pentru o deplasare de 5 mm față de axa neutră; c — idem, pentru o deplasare de 1 mm.

— Se slăbesc șuruburile de fixare a portperiiilor, astfel ca ele să se deplăseze ușor.

— Se realizează montajul și verificarea mai sus amintită și se notează deviația voltmetrului la conectarea și deconectarea înfășurării de excitație.

— Se deplasează suportul portperiiilor cu 1—2 mm și se observă noile valori ale derivației acului voltmetrului. În cazul unor deviații mai mici decât cele precedente, sensul de deplasare al portperiiilor este corect și atunci se continuă deplasarea lor pînă în momentul cînd deviațiile sînt minime sau chiar nule.

— Se schimbă poziția rotorului prin învîrtire cu un unghi oarecare în sensul de rotație și se

verifică din nou poziția axei neutre. Dacă în această nouă poziție se obține o nouă axă neutră (în mod normal diferențele sînt neînsemnate), portperiiile trebuie să se fixeze în poziția medie a celor două valori extreme.

— Se fixează portperiiile și se verifică din nou poziția în axa neutră, deoarece este posibil ca la fixarea lor să se producă deplasarea periiilor.

Se va avea în vedere ca în timpul învîrtirii rotorului cu mîna, voltmetrul să fie deconectat de la perii, deoarece poate fi deteriorat de tensiunea electromotoare mare produsă.

În cazuri speciale, cînd este nevoie de o fixare foarte precisă a periilor în axa neutră, acestea se vor înlocui cu perie de control (fig. 15).

Periile de control se fac din bare de cupru ajustate după forma periilor, iar muchia de jos prin care se face contactul cu colectorul este ascuțită. Se va avea grijă ca la rotire să nu se blocheze între două lamele. Pentru mașinile multipolare se vor schimba periile de control în diferite port-perii.

Celelalte trei metode indicate nu prezintă interes practic deosebit, deoarece ele sînt metode dinamice (mașina este în funcțiune) și aceasta presupune condiții și aparate suplimentare. Întrucît de aceste condiții în plus nu se dispune la locul de montaj al mașinilor, pentru această verificare rămîne să se folosească aproape exclusiv metoda de inducție ce dă rezultate foarte precise.

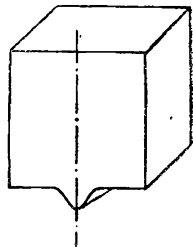


Fig. 15. Perie de control folosită la stabilirea axei neutre prin metoda inducției.

3.3. Schemele de conectare la rețea și legăturile interioare ale mașinilor electrice de curent continuu

Conform STAS 3530-52 marcarea bornelor mașinilor electrice de curent continuu se face ca în tabelul 12.

Rezultă că marcarea se face cu litere majuscule pentru fiecare tip de înfășurare, iar cu 1 și 2 se notează începutul și respectiv sfîrșitul.

Este făcută următoarea convenție pentru stabilirea începutului de înfășurare: la rotirea spre dreapta a mașinilor în regim de motor, curentul în toate bobinele (cu excepția celor de demagnetizare a polilor principali) să circule de la începutul 1 către sfîrșitul 2. Rotirea spre dreapta este convenită cînd mașina se învîrte în direcția acelor de ceas cînd se privește capul de arbore (din partea de antrenare). În cazul mașinilor cu două părți de antrenare, sensul de rotație se consideră spre dreapta privind din partea opusă colectorului.

Marcarea bornelor mașinilor de curent continuu

Felul înfășurării	Simbol	
	Început	Sfârșit
Înfășurare rotorică	A_1	A_2
Înfășurare de excitație derivație	B_1	B_2
Înfășurare de excitație serie	C_1	C_2
Poli auxiliari	D_1	D_2
Înfășurare specială de compensație	K_1	K_2
Înfășurare specială	S_1	S_2
Legăturile echipotențiale ale înfășurărilor	E_1	E_2
Înfășurare de excitație separată	F_1	F_2

Din cele spuse mai sus rezultă că la mașinile care se învîrtesc spre dreapta începutul înfășurării rotorice (A_1) se află sub periile conectate la polaritatea pozitivă a rețelei indiferent dacă mașina lucrează în regim de generator sau motor.

Pentru generator curentul circulă de la borna A_1 spre rețea, iar pentru motor curentul circulă de la rețea către A_1 . În funcție de mărimea și tipul mașinii electrice considerate, putem avea sau nu placă de borne, iar ieșirile nu se fac pentru toate capetele, deoarece o serie de legături se execută în interior. La mașinile de putere mică și mijlocie capetele înfășurărilor se scot în parte la o placă de borne, conform schemelor reprezentate în figurile 16, 17, 18, 19 și 20.

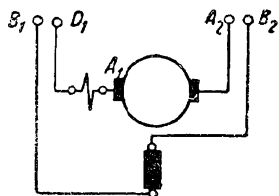


Fig. 16. Mașină de curent continuu cu excitație derivație. Schema de principiu și notarea înfășurărilor.

Există variante constructive ale mașinilor de curent continuu care au înfășurarea polilor auxiliari împărțită în două secțiuni legate de o parte și de alta a rotorului (fig. 19). Acest mod de legătură permite eliminarea parazitilor radiofonici produși de funcționarea mașinii.

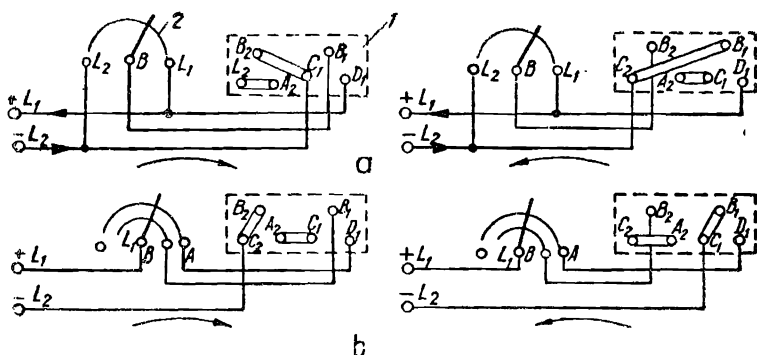


Fig. 17. Mașină de curent continuu cu excitație derivație. Placa de borne cu legăturile:

a — generator; b — motor;
1 — placă de borne; 2 — reostat de excitație.

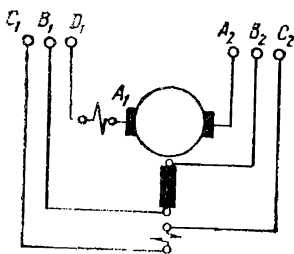


Fig. 18. Mașină de curent continuu cu excitație mixtă. Schema de principiu și notarea înfășurărilor.

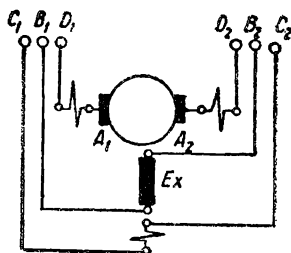


Fig. 19. Mașină de curent continuu cu excitație mixtă. Schema de principiu și notarea înfășurărilor în cazul amplasării polilor auxiliari de ambele părți ale rotorului.

În cazul mașinilor de puteri mari, placa de borne lipsește, iar ieșirile de la înfășurarea derivație se scot sub formă de cablu cu papuci, iar ale celor de la înfășurarea

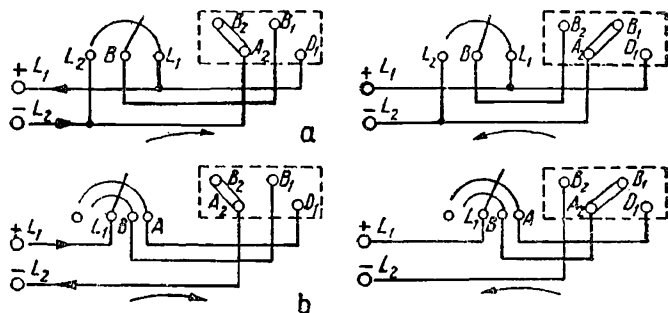
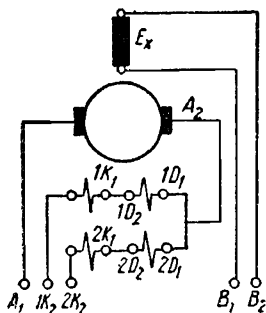


Fig. 20. Mașină de curent continuu cu excitație mixtă. Placa de borne cu legăturile:

a — generator; *b* — motor;

serie, sub formă de bare. Pentru mașinile de curent mare înfășurările polilor auxiliari și ale celor de compensație se execută sub formă de două derivații. Fiecare derivație din înfășurarea de compensație este inserată cu derivația alăturată a înfășurării polilor auxiliari, așa cum este reprezentat în fig. 21.



**Fig. 21. Mașina de
curent continuu cu
excitație mixtă.**

Schema de principiu și notarea înfășurărilor în cazul înfășurărilor serie de compensație și al polilor auxiliari cu circuite derivatie.

Din schemele analizate mai sus rezultă că schimbarea sensului de rotație (în cazul menținerii regimului de funcționare generator sau motor) se realizează prin schimbarea sensului curentului în înfășurările de excitație.

În tabelul 13 se dau notațiile folosite la marcarea înfășurărilor după GOST și cele folosite de fabrica Electrosila. Și în acest caz începutul este notat cu 1 iar sfârșitul cu 2, curentul circulă de la 1 la 2 pentru mașina

funcționînd în regim de motor cu sens de rotație spre dreapta. De asemenea nu se ia în considerare înfășurarea de demagnetizare (anticompund).

Tabelul 13

Notarea bornelor mașinilor electrice fabricate în U.R.S.S.

Felul bobinajului	GOST		ELECTROSILA	
	Început	Sfîrșit	Început	Sfîrșit
Bobinaj rotoric	$\mathcal{A}_1$	$\mathcal{A}_2$	A	B
Bobinaj de excitație derivație	III_1	III_2	G	H
Bobinaj de excitație serie	C_1	C_2	G	H
Bobinajul polilor auxiliari	Δ_1	Δ_2	E	F
Bobinaj de compensație	K_1	K_2	C	D
Bobinaj special	01:03	02:04		
Legăturile echipotențiale ale bobinelor	Y_1	Y_2		
Bobinaj de pornire	Π_1	Π_2		

În cazul existenței mai multor înfășurări cu aceeași funcțiune pe o mașină, începuturile și sfîrșiturile notate cu indici se vor nota cu numere (fig. 21).

În general, la alegerea variantei folosite pentru conexiunile capetelor de ieșire, la funcționarea mașinii ca generator sau motor se ține seama uneori de necesitatea realizării unui montaj convenabil al ansamblului bornelor.

Pentru cazurile speciale și cele necuprinse în tabelele de mai sus se va avea în vedere cartea mașinii sau catalogele firmei constructoare respective.

3.4. Verificarea conexiunilor înfășurărilor

Controlul conexiunilor înfășurărilor mașinilor electrice de curent continuu este necesar datorită multiplelor posibilități de a greși. De exemplu, sînt foarte frecvente legăturile greșite ale polilor auxiliari sau sensul de rotație necesar în instalație este invers celui indicat pe mașină.

În aceste cazuri, la funcționarea în gol sau la sarcini mici, nu sînt indicii de mers necorespunzător. La creșterea

sarcinii ăpare scînteiere la colector și aceasta poate progresa destul de mult, încît poate deveni chiar periculoasă funcționării. De asemenea, conectarea greșită a înfășurării serie a unui motor poate duce la creșterea periculoasă a curentului și mărirea considerabilă a turației.

Verificarea constă în determinarea polarității polilor principali și auxiliari, a legăturilor dintre ei și în exterior, a legăturilor înfășurărilor de excitație, a înfășurărilor de compensare etc.

Succesiunea polilor principali și auxiliari la mașini trebuie să fie conform indicațiilor din tabelul 14, avînd în vedere regimul de funcționare și sensul de rotație.

Tabelul 14

Succesiunea polilor la mașini de curent continuu

	Motoare	Generatoare
Sens de rotație	→	→
Succesiunea polilor	N—n—S—s	N—s—S—n

3.4.1. Determinarea polarității polilor

Pentru această determinare se folosesc mai multe metode dintre care cele mai uzuale sînt:

- metoda vizuală după sensul de bobinaj;
- metoda acului magnetic;
- metoda bobinei sondă.

În general schemele de conectare a polilor principali și auxiliari sînt identice. Conectarea în serie a bobinelor polilor principali se realizează conform figurii 22.

În cazul cînd circuitul polilor principali este format din două circuite paralele, cele două circuite cuprind fiecare poli de aceeași polaritate. Schema de legături interioare se realizează așa cum este reprezentat în fig. 23.

În cazul mașinilor mari la care execuția bobinelor este ușor vizibilă ca sens de bobinare, se poate folosi metoda vizuală de determinarea polarității polilor. Se admite con-

vențional un sens al curentului prin bobinaj și pentru aceasta, folosind regula burghiului, se stabilesc semnele polilor.

Pentru mașinile mici avînd bobinele polilor executate din sîrmă subțire sau la care nu este accesibilă urmărirea vizuală, a legăturilor și a sensului de bobinare, determinarea polarității polilor se face prin celelalte două metode.

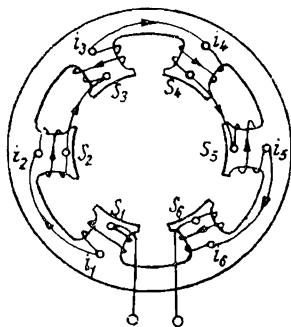


Fig. 22. Schema de legare în serie a bobinelor polilor principali.

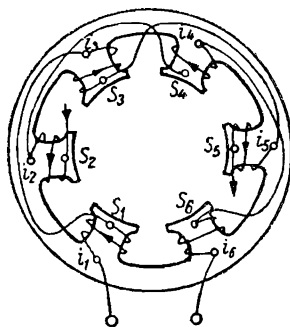


Fig. 23. Schema de legare a bobinelor polilor principali cu două circuite paralele.

Metoda acului magnetic. Alimentînd înfășurarea polilor și avînd înfășurarea rotorică deschisă se aduce, pe rînd, acul magnetic în dreptul polilor. După indicațiile acului se determină polaritatea fiecărui pol. Dacă mașina este demontată, acul magnetic se aduce prin interior în fața polului, iar în cazul mașinii asamblate se aduce acul pe partea exterioară în dreptul buloanelor de strîngere a polului. Acul magnetic se va apropia din exterior direct spre locul de probă pentru a evita remagnetizarea lui. În cazul cîmpurilor puternice acul se va ține puțin pe loc din același motiv.

Trebuie avuț în vedere că după poziția de determinare interioară sau exterioară, polaritățile indicate de ac vor fi cele reale și respectiv invers.

Metoda bobinei sondă. În cazul cînd nu se dispune de ac magnetic și în special la mașinile care funcționează cu

un curent mic de magnetizare și au magnetismul remanent redus metoda sus amintită nu dă indicații precise. În asemenea cazuri succesiunea polilor se determină cu o bobină sondă (fig. 24).

Bobina sondă se realizează de obicei din sîrmă de cupru subțire izolată cu email, executată plată și lipită pe un carton ca în figură. Capetele bobinei se conectează la un aparat magnetoelectric de preferat cu zero la mijloc (milivoltmetru).

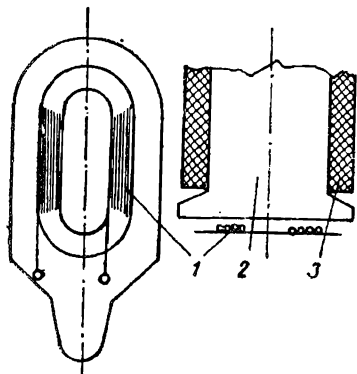


Fig. 24. Determinarea polarității polilor cu bobina sondă:
1 — bobina sondă; 2 — circuitul magnetic al polului; 3 — bobina-
jul polului.

Succesiunea operațiilor în determinarea este următoarea:

— se alimentează înfășurarea polilor cu o tensiune de probă;

— se introduce bobina sondă sub pol și se mișcă pe toată suprafața rotorului;

— se observă deviațiile alternative ale indicatorului aparatului, iar în cazul unor deviații mici se mărește pentru precizie curentul prin înfășurare.

Dacă succesiunea polilor este corectă, derivațiile acului aparatului se schimbă în mod alternativ ca sens de la un pol la altul.

Cînd nu este posibilă manevrarea ușoară și continuă a bobinei sondă în întrefier, aceasta se fixează sub fiecare pol și se fac conectări și deconectări scurte ale tensiunii în circuitul polilor. În acest caz se ia în considerare sensul primei deviații a acului aparatului. Se va avea în vedere să nu se schimbe poziția bobinei față de pol prin trecere de la unul la altul.

În cazul în care bobina nu încapă în întrefier sau rotorul nu este scos, se folosește aceeași metodă apropiindu-se bobina în exterior de șuruburile de fixare a polilor. Pentru a avea rezultate concludente în această situație este necesară alimentarea înfășurării cu un curent mai

mare, iar bobina trebuie să aibă un număr mare de spire. Nu se va schimba poziția bobinei prin trecere de la un pol la altul.

3.4.2. Determinarea polarității înfășurărilor de excitație serie și derivație

Metoda cea mai folosită este metoda de inducție. Se realizează un montaj ca cel prezentat în fig. 25.

Înfășurarea derivației este alimentată intermitent prin întrerupătorul K , iar la capetele înfășurării serie se leagă un aparat magnetoelectric. Dacă sensurile de bobinare corespund, în momentul conectării sursei vor exista polaritățile indicate în figură.

În cazul generatorului cu autoexcitație se va avea în vedere ca la legarea sursei de bobinaj să se țină seama de polaritate pentru a evita demagnetizarea polilor.

3.4.3. Verificarea legăturii între înfășurarea rotorică și a polilor auxiliari

Legătura între înfășurarea rotorică și aceea a polilor auxiliari este realizată în același mod, independent de sensul de rotație al mașinii sau de regimul de funcționare ca motor sau generator.

Verificarea legării corecte a acestor două înfășurări se face prin metoda de inducție, controlind polaritățile. Se realizează montajul reprezentat în fig. 26 și, prin conectări și deconectări succesive, cu întrerupătorul K , se determină polaritatea la bornele D_1 și D_2 care trebuie să fie ca aceea indicată în figura 26.

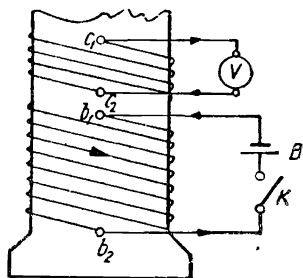


Fig. 25. Schemă pentru verificarea legăturii corecte a înfășurărilor de excitație serie și derivație.

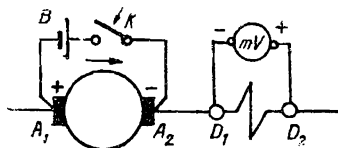


Fig. 26. Schemă pentru verificarea legăturii dintre înfășurarea rotorică și a polilor auxiliari.

Rezultă o polaritate inversă deoarece amperspirele de lucru ale polilor auxiliari sînt de sens contrar amperspirelor rotorului. În concluzie, executarea legăturilor se face la polaritate de același nume.

Pentru cazurile cînd între bobinele polilor auxiliari sînt legate și porțiuni ale înfășurării de compensație, aparatul de măsurat se conectează la bornele generale.

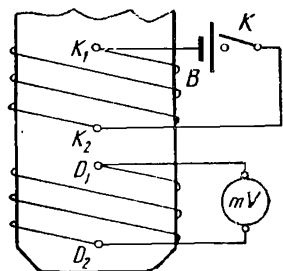


Fig. 27. Schemă pentru verificarea polarității reciproce între înfășurările polilor auxiliari și înfășurarea de compensație.

În cazul mașinilor cu înfășurările de compensație distincte de cele ale polilor auxiliari, legătura între acestea se verifică tot prin metoda de inducție.

Polaritatea reciprocă între cele două înfășurări se verifică în același mod ca la înfășurările serie și derivație cu un montaj ca în fig. 27.

Legătura corectă între cele două înfășurări, este cea serie (plus se leagă cu minus), deoarece fluxul înfășurării de compensație trebuie să fie adițional fluxului înfășurării polilor auxiliari. În cazul mașinilor mari sînt situații cînd polii auxiliari trebuie reglați, respectiv se reglează întrefierul lor pentru a avea o comutație corectă.

Pentru aceasta se folosește metoda de reglare a polilor auxiliari după zona fără scînteiere, descrisă de metoda lui V. T. Kasianov. Această metodă constă în determinarea curenților în înfășurarea polilor auxiliari (valori minime și maxime) față de care mașina are o funcționare corectă fără scînteii la perii. Metoda sus amintită este descrisă pe larg în cărțile de specialitate [2]; această operație se face în mod curent la fabrica constructoare și în atelierele de reparații; de aceea, nu se descrie în prezenta lucrare.

3.5. Scînteierea periiilor pe colector și suprimarea ei

Producerea scînteierii periiilor pe colector poate avea cauze diferite determinate de: funcționare, perii și chiar compoziția chimică a mediului unde funcționează mașina.

Scînteierea poate să apară imediat la prima pornire, să varieze în timp și cu sarcina sau să apară după un timp de funcționare.

Coniorm STAS 1893-65 mașinile electrice cu colector trebuie să aibă o funcționare fără scînteii periculoase și fără deteriorări ale suprafeței colectorului sau ale periilor, la sarcini cuprinse între mersul în gol și sarcina nominală, cum și la suprasarcini de $1,5 I_n$ timp de 2 min.

Scînteierea colectorului mașinii electrice se apreciază numai la suprafața activă a colectorului, după scînteile ce apar sub marginea unghiului de fugă al periei.

O scînteiere punctiformă formată din scînteii mici de culoare albă sau alb-albăstruie la marginea unghiului de fugă al periei nu este periculoasă.

Apariția unor scînteii alungite de culoare gălbuie la mai multe perii dă indicația unei comutații incorecte. O mașină electrică nu poate funcționa la sarcina nominală dacă are o scînteiere slabă la mai mult de jumătate din numărul periilor și dacă pe colector apar urme de înnegrire, iar pe perii apar urme de arsură.

În cazul apariției unor scînteii de culoare verde, cum și prezența unor granule de cupru pe suprafața de contact a periilor, ca rezultat al arderii cuprului, cauzele sînt de ordin mecanic (excentricitatea colectorului, vibrațiile periilor, ieșirea în afară a lamelelor colectorului etc.).

Suprimarea scînteii presupune înlăturarea tuturor cauzelor obișnuite care ar produce-o legate de contactul alunecător al periei sau de circuitele electrice și magnetice. După aceste măsuri, la mașinile mari se va observa comutația și se va efectua după caz reglarea polilor auxiliari. Dacă aceste măsuri nu dau rezultate satisfăcătoare, se va schimba marca periilor sau se vor folosi perii crestate sau stratificate (duble).

În practică se mai folosesc și perii cu suprafețe de lucru crestată așa cum se arată în fig. 28. Canalele practicate

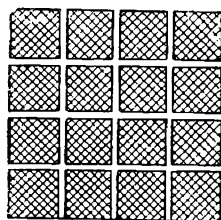


Fig. 28. Crestături executate pe suprafața de contact a periei cu colectorul.

sînt perpendiculare între ele, late de 1 mm și adînci de 3 mm. Aceste creștături asigură o creștere a rezistenței transversale a periei creînd și o răcire mai bună a ei.

Sînt cazuri cînd ameliorarea comutației se poate obține prin mărirea zonei de comutație pe colector sau folosind perii mai late. Mărirea zonei de comutație se obține prin deplasarea periiilor una față de alta, așa cum este reprezentat în fig. 9, b.

3.6. Verificarea polarității periiilor

La o mașină de curent continuu cunoscîndu-se sensul de rotație și avînd determinată polaritatea polilor principali, se poate stabili polaritatea periiilor. Această operație se efectuează în cazul cînd periiile nu sînt notate sau în cartea mașinii nu se dă tipul de înfășurare rotorică după care să rezulte polaritatea periiilor.

Cele mai uzuale metode pentru determinarea polarității periiilor sînt următoarele:

— Excitația mașinii se alimentează separat cu o polaritate dată. La perii se leagă un voltmetru cu scală 30—0—30 V curent continuu. Se dă prin șoc o învîrtire rotorului în sensul cunoscut de funcționare. După sensul derivației acului aparatului și după modul lui de legare (fig. 29) se va indica polaritatea periiilor.

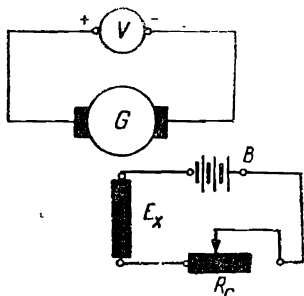


Fig. 29. Determinarea polarității periiilor prin alimentarea separată a excitației.

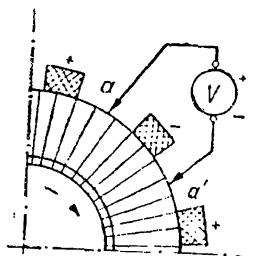


Fig. 30. Determinarea polarității periiilor prin punte de măsură pe colector.

— Se stabilesc două puncte a și a' pe colector ca în fig. 30, între două perii succesive pe colector de polaritate diferită, la distanță egală. Cu un voltmetru legat cu două cordoane cu tije de încercare, se vor face măsurări în punctele a și a' .

Cu un întrerupător se conectează și se deconectează succesiv excitația mașinii la o baterie de 2...6 V. Se va observa sensul derivațiilor la voltmetru care e indicat să fie cu zero la mijlocul scalei. Dacă la conectare avem o deviație în sensul pozitiv al scalei și la deconectare în sensul negativ, punctul a are polaritatea +, iar a' are polaritatea —. În acest caz periile imediate, mergând pe colector în sens invers sensului de rotație, vor avea polaritatea punctelor a și a' .

Pentru mașini al căror tip de bobinaj rotoric este cunoscut, iar polaritatea polilor și sensul de rotație determinate, polaritatea periiilor este indicată în tabelul 15.

Tabelul 15

**Polaritatea mașinilor de curent continuu
cu tipul de înfășurare cunoscut**

Tip de înfășurare	Grupa	Generator	Motor
		Sens de rotație	
		dr.	st.
Înfășurare buclată neîncrucișată cu stegulețe normale	I		
Buclată neîncrucișată cu legătură echipotențială între stegulețe	I		
Ondulată neîncrucișată	I		
Buclată încrucișată în stegulețe normale	II		
Buclată încrucișată cu legături echipotențiale între stegulețe	II		
Ondulată încrucișată	II		

Se consideră sensul de rotație privind rotorul din partea antrenării, iar în cazul antrenării pe ambele părți partea opusă colectorului.

Polaritatea indicată este a periei montată în fața polului nord.

3.7. Restabilirea remanenței magnetice

În practică se întâlnesc suficiente cazuri la generatoarele de curent continuu care nu se autoexcită datorită scăderii însemnate a magnetismului remanent. Acest fenomen apare frecvent la mașinile noi și este datorat în cea mai mare parte cazurilor de necorespondență între sensul de rotație și polaritatea magnetismului remanent. De asemenea, pierderea remanenței mai poate apărea datorită legăturilor incorecte ale înfășurărilor derivatie sau să se reducă foarte mult datorită vibrațiilor, zdruncinăturilor la transport, variațiilor de temperatură, cum și altor cauze.

În mod curent pentru restabilirea magnetismului remanent se folosesc următoarele metode:

— Se deconectează înfășurarea de excitație și având mașina încă în mers, se măsoară tensiunea cu polaritatea respectivă, datorită magnetismului remanent al mașinii în gol. Se conectează înfășurarea de excitație și se măsoară tensiunea obținută. În cazul când tensiunea se mărește cu o valoare neînsemnată, pentru restabilirea magnetismului trebuie să se scurtcircuiteze pentru scurt timp reostatul și rezistențele suplimentare din circuitul de excitație, forțând excitarea mașinii.

În cazul când la conectarea înfășurării de excitație tensiunea măsurată scade, rezultă că polaritatea înfășurării de excitație ca sens de cîmp este inversă magnetismului remanent și deci trebuie inversate legăturile.

— Din practică s-a observat că la generatoare este mult mai ușoară excitarea la mersul în gol decât în sarcină. Pentru obținerea mai ușor a autoexcitării inițiale se face o scurtă scurtcircuitare a rotorului. În această situație, dacă reacția indusului amplifică fluxul magnetic principal, se obține o autoexcitare ușoară suficientă la început.

— Dacă în timpul probelor apare o demagnetizare sau schimbare a polarității polilor este necesară remagnetizarea

mașinii. Aceasta se face folosind o sursă de curent continuu (rețea, redresor, acumulator) și dând un șoc de excitație de $0,2-0,3 i_{exn}$.

Valoarea este suficientă pentru obținerea remanenței magnetice de autoexcitare.

3.8. Ridicarea caracteristicilor de funcționare la motoare

După terminarea tuturor verificărilor enumerate mai sus se vor executa probele de pornire și de funcționare. În timpul acestor probe se stabilește corectitudinea funcționării mecanice (fără trepidații, frecări, bătăi, sens corect de rotire etc.) și electrice (neîncălziri excesive, comutație corectă, încărcare corectă etc.), se determină mărimile caracteristice și interdependența dintre ele.

În general la motoarele de curent continuu se ridică în mod curent următoarele caracteristici:

— La motoarele folosite cu reglajul turației, caracteristica de reglaj $n=f(i_{ex})$ la mers în gol și $U=U_n$.

— La motoarele folosite în acționări de durată fără reglaj de turație, caracteristica turației $n=f(I)$ la $U=U_n$ și $i_{ex}=i_{exn}=\text{constant}$.

Indiferent de tipul acționării și reglajului, la motoare, pentru mersul în gol, se măsoară turația pentru $U=U_n$ și $i_{ex}=i_{exn}=\text{constant}$. În cazul mașinilor cu sarcină statică mică, se pot face aceste măsurări cu sarcina mecanismelor cuplată.

Pentru cazurile speciale ale sistemelor generator-motor se ridică caracteristica $n=f(U_g)$ ce reprezintă variația turației funcție de tensiunea generatorului pentru o anumită valoare a excitației.

Erorile de măsurare la ridicarea caracteristicilor nu trebuie să depășească $2,5-3\%$. Este indicat ca voltmetrele și ampermetrele să fie de clasă 1 pentru a avea rezultate bune în special în cazul sistemelor automate.

3.8.1. Caracteristica de reglaj $n=f(i_{ex})$

Ridicarea acestei caracteristici permite verificarea realizării reglajului necesar în toate regimurile de funcționare și să determine continuitatea reglării. În același timp, se

stabilește și valoarea rezistenței minime de excitație pentru funcționarea stabilă la regimul minim de excitație necesar reglajului.

Această caracteristică se determină pentru $U=U_n$ la mersul în gol sau cu sarcini statice foarte mici. Creșterea maximă admisă a turației este de $1,1 n_{max}$ valoare la care trebuie urmărită foarte atent comutația. În cazul apariției scînteierii puternice la colector, se va întrerupe încercarea căutînd a se lămuri cauzele acestei scînteieri.

Verificarea stabilității de funcționare la turații mari se face de cîteva ori cu variații lente. În cazul motoarelor reversibile se determină caracteristica pentru ambele sensuri de rotație.

Dacă în timpul ridicării caracteristicii, tensiunea de alimentare diferă de cea nominală ($U_n=U_{măsurat}$), turația normală n se recalculează în funcție de turația măsurată n' la U măsurat, cu relația

$$n=n' \frac{U_n}{U_{măsurat}}$$

aceasta făcînd aproximația că turația este direct proporțională cu tensiunea de alimentare.

Dacă se execută o mărire bruscă a turației motorului, curentul indusului motorului poate atinge o valoare importantă și dacă în acest caz puternica reacție a indusului nu produce reducerea fluxului principal care produce creșterea turației, rezultă că mașina va avea o funcționare stabilă și în sarcină.

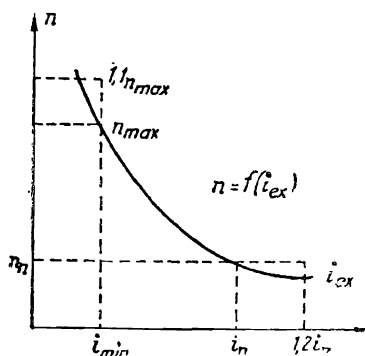


Fig. 31. Caracteristica de reglaj pentru un motor cu excitație derivație.

Caracteristica se ridică de obicei între valorile turației $1,1 n_{max}$ și cea corespunzătoare curentului $1,2 i_{ex n}$. În acest interval se ridică un număr suficient de puncte pentru a determina curba corect.

În fig. 31 se arată caracteristica de reglaj pentru un motor derivație.

3.8.2. Caracteristica turației $n=f(I)$

Ridicarea caracteristicii corespunde încărcărilor diferite ale motorului de la mersul în gol pînă la $1,25 I_n$ și permite observarea funcționării motorului.

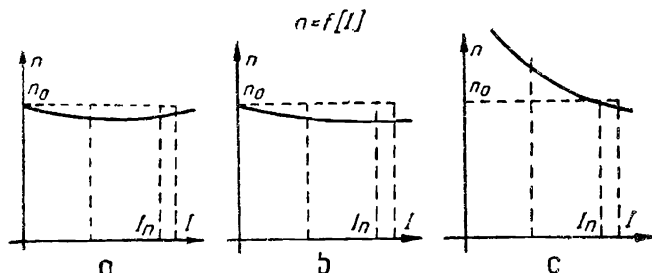


Fig. 32. Caracteristici de turație:

a — pentru motor derivație; b — pentru motor compund; c — pentru motor serie.

Excitația este constantă și egală cu valoarea care corespunde turației nominale la sarcina nominală.

În fig. 32 sînt trasate diferite caracteristici ale turației pentru motoarele de curent continuu.

3.8.3. Caracteristica de reglaj a turației în grup generator-motor $n=f(U_g)$

În sistemele automate se folosește grupul generator-motor pentru obținerea de turații reglabile într-o gamă foarte largă. Caracteristica este o linie

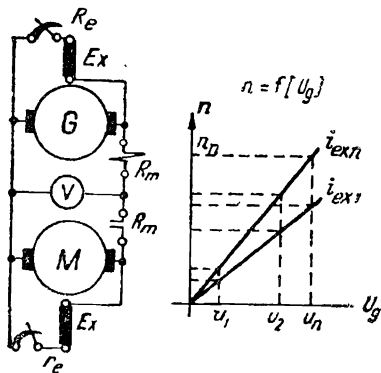


Fig. 33. Schema pentru ridicarea caracteristicii $n=f(U_g)$.

dreaptă, care corespunde unei valori a curentului de excitație. Rezultă că în acest caz se ridică punctele necesare, trasându-se în general mai multe drepte pentru diferite valori ale excitației, după necesitățile concrete ale exploataării.

După cum rezultă din fig. 33, în care se indică și schema electrică, caracteristicile ridicate corespund pentru două valori ale excitației $i_{ex\ n}$ și $i_{ex\ 1}$.

3.9. Ridicarea caracteristicilor la generatoare

La generatoare, ridicarea caracteristicilor principale de funcționare se face după ce s-au făcut câteva porniri cu motorul primar și s-a constatat corectitudinea și siguranța funcționării. La generatoarele de curent continuu se ridică caracteristicile de mers în gol și caracteristica externă (tensiunea funcție de sarcină).

În cazul excitatoarelor motoarelor sincrone cuplate pe același arbore cu generatorul, se ridică numai caracteristica externă datorită imposibilității funcționării timp îndelungat, a motorului primar în asincron.

3.9.1. Caracteristica de mers în gol $U_0=f(i_{ex})$ la $n=n_n=\text{constant}$

Ridicarea acestei caracteristici permite determinarea curbei de magnetizare a mașinii și compararea acesteia cu datele de fabrică. În același timp permite stabilirea valorilor limită ale poziției reostatelor și efectuarea probei de încercare cu tensiune a izolației între spire.

Valoarea limită de ridicare a tensiunii este de $1,3 U_n$ dacă nu se depășește 24 V între două lamele de colector alăturate.

Proba se execută prin creșterea lentă a tensiunii excitând mașina pînă la valoarea maximă a tensiunii. În timpul probei trebuie urmărită comutația, iar în cazul apariției scînteierii, se reduce excitația și se oprește mașina, pentru a determina cauzele producerii scînteierii.

La generatoarele care au regim de funcționare cu schimbarea polarității se ridică curba de magnetizare în

ambele sensuri prin comutarea bornelor înfășurării de excitație.

Dacă măsurările se fac la o altă turație decât cea normală, considerînd că există proporționalitate între turație și tensiune se poate face corecția tensiunii citite cu relația

$$U = U_{m\ddot{a}s} \frac{n_{nom}}{n_{m\ddot{a}s}}$$

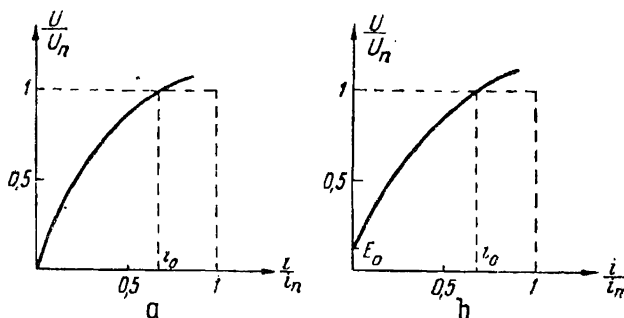


Fig. 34. Caracteristica de mers în gol a generatoarelor:
a — cu excitație separată și serie; b — cu excitație derivată și mixtă.

în care: U este tensiunea generatorului corectată;

$U_{m\ddot{a}s}$ — tensiunea generatorului măsurată;

n_{nom} și $n_{m\ddot{a}s}$ sînt turațiile nominală și măsurată ale generatorului.

În fig. 34 sînt trasate caracteristicile în gol pentru generatoare.

3.9.2. Caracteristica externă $U=f(I)$ pentru $n=n_n=\text{constant}$ și $r_{ex}=\text{constant}$

La ridicarea caracteristicii se vor menține constante turația care va fi cea nominală și rezistența din circuitul de excitație. Deosebit de importante sînt două caracteristici externe: prima cînd avem $U=U_n$ la sarcina nominală și a doua pentru U_n la mersul în gol. Acest lucru se vede în fig. 35, a unde sînt trasate cele două curbe a și b corespunzătoare celor două cazuri.

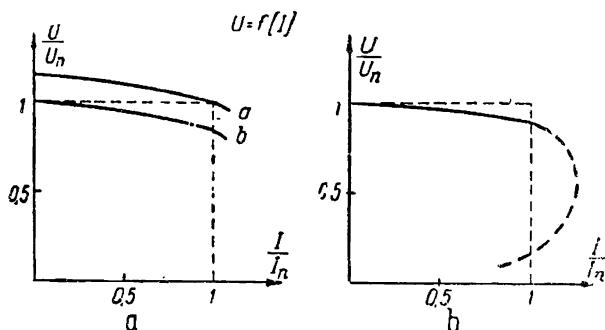


Fig. 35. Caracteristica externă pentru generatoare:
 a — cu excitație separată; b — cu excitație derivație.

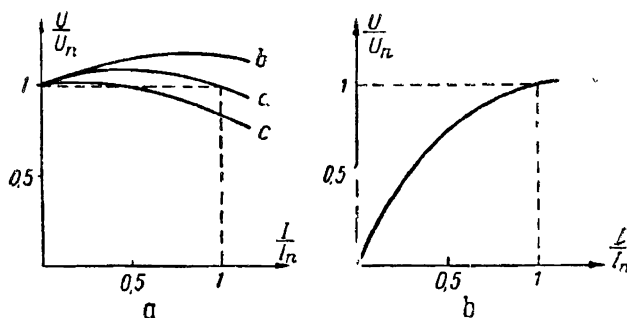


Fig. 36. Caracteristicile externe pentru generatoare:
 a — cu excitație mixtă; b — cu excitație serie;
 a — generator normal compundat; b — generator supracompundat;
 c — generator subcompundat.

În fig. 36 sînt trasate caracteristicile externe pentru generatorul cu excitație mixtă în cele trei cazuri distincte: a) generator normal compundat; b) generator supracompundat și c) generator subcompundat.

Pentru ridicarea curbei sînt suficiente 4—5 puncte care să permită trasarea totală și să se aprecieze alura ei.

4. Mașini de curent alternativ

4.1. Marcarea bornelor

Conform STAS 3530-52 la mașinile de curent alternativ trifazat și monofazat marcarea bornelor de legătură este cea indicată în tabelul 16.

Tabelul 16

Marcarea bornelor la mașinile de curent alternativ

Tipul bobinajului	Numărul bornelor	Simbol	
		Început	Sfârșit
Satorul mașinilor trifazate	6	A B C	X Y Z
Satorul mașinilor trifazate legate în stea <i>Obs.</i> Borna de nul dacă este scoasă afară se notează cu O indiferent de faptul dacă se leagă sau nu la pământ	3 sau 4	A B C O	
Satorul mașinilor trifazate legate în triunghi	3	A B C	
Înfășurarea rotorică a mașinilor trifazate asincrone	6	a b c	x y z
	3	a b o	

Tabelul 16 (continuare)

Tipul bobinajului	Numărul bornei	Simbol	
		Început	Sfârșit
Satorul mașinilor monofazate sincrone	2	A	X
Satorul mașinilor monofazate asincrone	2	A	X
— înfășurarea principală	2	P	p
— înfășurarea de pornire			
Înfășurarea de excitație a mașini sincrone	2	I	i

Pentru mașinile de curent alternativ care au înfășurări compuse (duble, triple) sau secționare, bornele se marchează cu aceleași litere ca și în cazul bobinelor simple, dar cu o cifră suplimentară scrisă în fața literelor.

În tabelul 17 se arată un exemplu de marcarea bornei la stator cu două înfășurări.

În cazul când înfășurarea statorică dublă este cu un capăt comun se folosesc notările din tabelul 18.

Tabelul 17

Tabelul 18

Marcarea bornei statorului
cu două înfășurări

Marcarea bornei statorului
cu două înfășurări
cu legătură comună

Prima înfășurare		A doua înfășurare	
1 A	1 X	2 A	2 X
1 B	1 Y	2 B	2 Y
1 C	1 Z	2 C	2 Z

Prima înfășurare		A doua înfășurare	
A	X	1 A	X
B	Y	1 B	Y
C	Z	1 C	Z

Marcarea bornei înfășurărilor la motoare cu patru turări este arătată în tabelul 19.

În cazul unor mașini de fabricație străină se folosesc indicațiile date în proiect sau în cartea mașinii. În tabelul 20 se arată marcarea bornei înfășurărilor statorice la unele mașini asincrone trifazate de fabricație străină.

Marcarea bornelor la motoare cu patru turații

4 poli	6 poli	8 poli	12 poli
4 A	6 A	8 A	12 A
4 B	6 B	8 B	12 B
4 C	6 C	8 C	12 C

Tabe'ul 20

Marcarea bornelor la motoare de fabricație străină

Fabricația	Început			Sfârșit		
	R	S	T	R	S	1
După GOST 188-55	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
Electros.la Hemz	U ₁	V	W	X	Y	Z
Seria sovietică TU — TP	1H	2H	3H	1K	2K	3K
AEG Siemens; Marelli, OET;	U	V	W	X	Y	Z
Laurence Scott. England	A	B ₁	C ₁	A ₁	B ₂	C ₂
Westinghouse Y	1	2	3	—	—	—
Y sau Δ	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆

Pentru mașinile asincrone trifazate cu rotorul bobinat de fabricație Laurance — Scott England, bornele înfășurărilor rotorice sînt marcate astfel:

începuturi D₁ E₁ F₁;

sfîrșituri D₂ E₂ F₂.

Pentru mașinile asincrone trifazate în scurtcircuit cu înfășurare statorică specială auxiliară de pornire se folosește notarea bornelor astfel:

- înfășurarea statorică principală UVW — X₁ Y₁ Z₁;
- înfășurarea auxiliară UVW — X₂ Y₂ Z₂.

4.2. Schemele de conectare a înfășurărilor la borne

Spre deosebire de mașinile electrice de curent continuu, schemele de conectare a înfășurărilor de curent alternativ sînt numai două și anume: stea sau în triunghi (fig. 37).

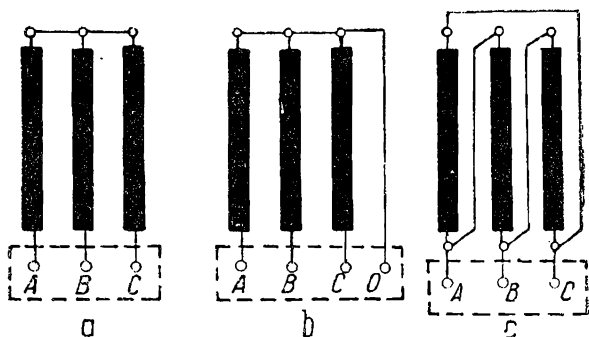


Fig. 37. Notarea bornelor și legăturilor la înfășurările trifazate:

a — conexiuni în stea, cu trei borne; b — idem, cu patru borne; c — conexiuni în triunghi cu trei borne.

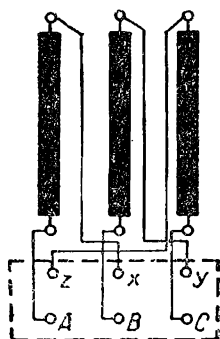


Fig. 38. Placă de borne cu șase borne.

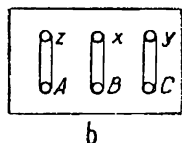
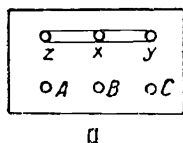


Fig. 39. Montarea punctului de legătură la borne:

a — pentru conexiuni în stea; b — pentru conexiuni în triunghi.

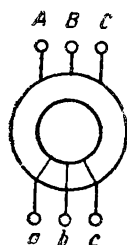


Fig. 40. Schema unui motor asincron trifazat cu inele colectoare.

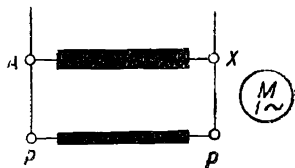


Fig. 41. Schema unui motor asincron monofazat cu rotorul în scurtcircuit și cu bobinaj de pornire.

În fig. 38 se reprezintă placa de borne și legăturile înfășurărilor pentru mașinile trifazate, cu posibilitatea conectării în stea sau în triunghi a înfășurărilor. Modul de legare a punților se face ca în fig. 39 pentru conexiuni stea sau triunghi.

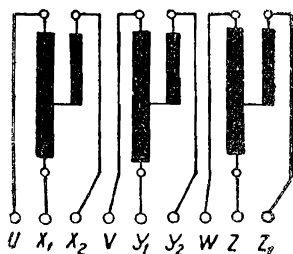


Fig. 42. Schema de legătură și placa de borne a unui motor asincron trifazat cu înfășurare specială de pornire.

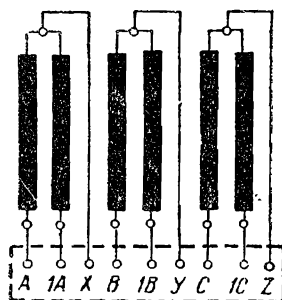


Fig. 43. Schema unei înfășurări trifazate duble.

În figurile 40, 41, 42 și 43 sînt date principalele scheme ale înfășurărilor mașinilor de curent alternativ și legăturile lor de borne.

4.3. Verificarea conexiunilor înfășurărilor

Această probă constă în a controla dacă notațiile începuturilor și sfîrșiturilor de înfășurare pe fiecare fază sînt făcute corect, pentru definitivarea legăturilor în exterior. În cazul mașinilor la care aceste notații nu sînt certe sau lipsesc, această verificare este absolut obligatorie. La această verificare cele mai uzuale metode de verificare sînt: metoda polarității în curent continuu și metoda de inducție cu tensiune alternativă.

Metoda polarității în curent continuu. Montajele folosite în această metodă sînt arătate în fig. 44.

Schema reprezentată în fig. 44, *a* permite determinarea separată a începuturilor și sfârșiturilor de înfășurare pe fiecare fază.

Dacă notațiile sînt corecte, la cuplarea tensiunii aparatul va indica o deviație pozitivă, iar la decuplare o deviație în sens invers. Deci începuturile înfășurărilor corespund bornei + a sursei și legăturilor la borna — a voltmetrului.

La aceeași polaritate a sursei de la care nu se demon-tează legăturile, se determină începutul și sfârșitul pentru cea de a treia fază.

Schema reprezentată în fig. 44, *b* permite determinarea începuturilor și sfârșiturilor de înfășurare prin legarea pereche a fazelor.

Dacă la conectarea și deconectarea sursei nu se obține deviație la acul voltmetrului înseamnă că s-au legat în punte borne de același nume (legătura reprezentată în figură cu linie plină).

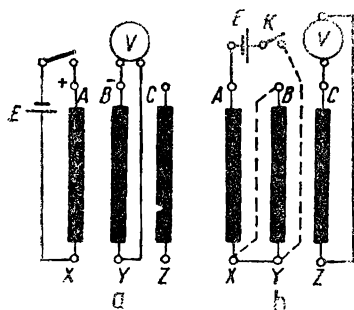


Fig. 44. Schemă de verificare a începuturilor și sfârșiturilor înfășurărilor statorice:

a — conectare separată; *b* — conectare pereche.

În cazul în care la voltmetru se obțin deviații în momentul cuplării și decuplării sursei, înseamnă că s-au legat în punte borne de nume contrar (legătura reprezentată în figură cu linie întreruptă).

Prin repetarea determinărilor cu celelalte variante de perechi se stabilește precis grupa de borne de același nume.

Metoda de inducție cu tensiune alternativă. Ca principiu și desfășurare, această metodă este similară cu metoda de mai sus avînd fazele legate perechi.

Se realizează montajul reprezentat în fig. 45 și se alimentează cu tensiune alternativă redusă.

Dacă vom avea o indicație la aparat, alimentarea fiind făcută, rezultă că s-au conectat în punte borne de nume

contrar (legătura punctată). În cazul în care nu avem indicație rezultă că s-au conectat borne de același nume (linie plină).

Se repetă analog și se determină corespondența reciprocă a capetelor pentru cea de a treia fază.

În cazul motorului asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit, această încercare trebuie să se facă cu o tensiune de $(0,16 \dots 0,2) U_n$ pentru a se evita supraîncălzirea înfășurării: pentru motorul asincron cu rotorul bobinat, înfășurarea rotorică trebuie să fie deschisă.

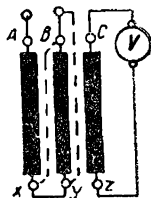


Fig. 45. Schema verificării marării capetelor de înfășurare prin metoda alimentării de la o sursă de curent alternativă.

4.4. Verificarea legăturii la pământ a rotorului

La turbogeneratoarele mari, rotorul turbinei se încarcă electrostatic determinând apariția unor tensiuni mari, periculoase. Pentru a se evita posibilitatea de accidentare a personalului de exploatare este necesară montarea unei perii pe arbore în porțiunea dintre turbină și generator. Această perie se leagă la pământ, pentru a asigura scurgerea sarcinilor electrice, la o priză care trebuie să aibă o rezistență de trecere de cel mult 100 Ω . Este necesară verificarea minuțioasă a montării corecte și a legăturii periei la pământ. Dacă această perie nu este montată în timpul probelor, se pot observa scântei la arbore în dreptul lagărului intermediar datorită peliculei izolante de ulei. Maximele acestei tensiuni pot atinge valori de 400 V și chiar mai mult, de unde rezultă și importanța montării acestei perii și a legării ei la pământ.

4.5. Verificarea rezistențelor de dezexcitare și a rezistențelor de punere la pământ

În cazul generatoarelor sincrone care au montată rezistența de dezexcitare și rezistență de punere la pământ se fac următoarele probe:

— verificarea stării rezistenței și a continuității ei;

— verificarea rezistenței de izolație cu megohmmetrul inductor de 1 000 V față de masă, avînd legăturile către exterior desfăcute;

— se încearcă cu tensiune mărită alternativă față de masă. Valoarea tensiunii de încercare este de 2 kV timp de un minut pentru rezistența de dezexcitare; pentru rezistența de punere la pămînt, valoarea tensiunii de încercare este de $1,5 U_n$ timp de un minut (U_n este tensiunea nominală între faze a înfășurării statorice).

4.6. Verificarea rezistenței de izolație a rotorului și excitatoarei la mașinile sincrone

În cazul verificării excitatoarelor mașinilor sincrone, se procedează la fel ca și cu mașinile de curent continuu.

Se măsoară rezistența de izolație a circuitului rotoric al mașinii sincrone măsurată față de masă pentru cazul cînd rotorul nu are punere la masă constructiv. Măsurarea se face la o temperatură de 20°C — 40°C cu megohmmetrul inductor de 500 sau 1 000 V. Rezistența de izolație a înfășurării rotorice astfel măsurată nu trebuie să fie mai mică decît 1 M Ω , dar pentru o corectă orientare ea trebuie comparată cu rezultatele măsurărilor anterioare.

Rezistența de izolație a înfășurării rotorice nu trebuie să fie mai mică decît 50% din valoarea medie măsurată anterior la aceeași temperatură.

În ansamblu circuitul de excitație (rotor și excitatoare) trebuie să aibă o rezistență de izolație apropiată de valorile măsurate anterior, dar în orice caz nu mai mici de 0,5 M Ω .

4.7. Determinarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice și a capacității izolației înfășurărilor statorice la mașinile de tensiune înaltă

Determinarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice este indicată a se efectua asupra înfășurărilor statorice de tensiune înaltă, constituind un criteriu în plus pentru aprecierea gradului de umiditate al înfășurărilor. La efectuarea acestei probe se vor avea în vedere instruc-

țiunile fabricii constructoare, întrucît instrucțiunile în vi-
goare nu indică proba obligatorie.

Puntea folosită trebuie să permită realizarea montaju-
lui invers pentru ca măsurarea $\operatorname{tg} \delta$ și C_x a înfășurării să
se facă la tensiune înaltă (de exemplu puntea tip MD-16
Electropribor — URSS, portabilă).

Pentru măsurare se desfac legăturile la bornele de nul,
cum și spre exterior. Se execută măsurarea la fiecare fază
față de celelalte două și masă legate împreună. Se reco-
mandă ca temperatura înfășurărilor să fie aceeași în tim-
pul măsurărilor și de preferință în jur de $+20^{\circ}\text{C}$.

Tensiunea la care se face măsurarea este indicată în
tabelul 21.

Tabelul 21

Tensiuni de încercare la măsurarea $\operatorname{tg} \delta$

U_n înfășurare	<1 kV	2 ... 10 kV	>10 kV
U măsură	1 kV	egală cu U_n	10 kV

Rezultatele obținute la măsurări se compară cu cele
din buletinul de fabrică sau din rezultatele măsurărilor
anterioare. Dacă valorile măsurate C_x și $\operatorname{tg} \delta$ nu diferă
mult față de rezultatele anterioare, se consideră rezulta-
tele respective ca fiind satisfăcătoare, iar starea izolației
înfășurărilor neschimbată.

4.8. Stabilirea sensului de rotație

Sensul de rotație al mașinii electrice este dictat de
sensul de rotație al motorului de antrenare în cazul gene-
ratoarelor sau de necesitatea unui anumit sens de rotație
al agregatului sau mecanismului pentru motoare.

În majoritatea cazurilor, pe mașină se indică sensul de
rotație la respectarea legării corecte a fazelor.

În cazul în care sensul indicat pe mașină corespunde
cu sensul agregatului, trebuie verificată succesiunea faze-

lor de alimentare. Dacă aceasta corespunde, prin legarea corectă a cablului se asigură sensul de rotire necesar.

În cazul când sensul de succesiune a fazelor la sursă nu corespunde pentru sensul necesar, prin inversarea a două faze ale alimentării între ele se obține sensul de rotație dorit.

În activitatea practică se întâlnesc suficiente cazuri când nu este indicat sensul de rotație al mașinii pentru o anumită legătură, iar agregatul cu care se lucrează nu permite o pornire cu sens de rotație invers. În aceste cazuri se folosesc diferite metode pentru stabilirea exactă a sensului de rotire și legare corectă.

Motoare sincrone și motoare asincrone cu rotor bobinat. Stabilirea sensului de rotație corect se face după cum urmează:

Se alimentează înfășurarea rotorică de la o sursă de curent continuu, astfel ca să avem o valoare a curentului în circuit de $(0,05—0,1) I_{rot n}$.

La bornele motorului se racordează un sincronoscop sau un indicator de succesiune a fazelor. Se imprimă rotorului o rotire cât se poate de bruscă în sensul dorit. Tensiunea indusă în înfășurările statorice și dată la aparat poate fi suficientă pentru a indica succesiunea tensiunii obținute.

În cazul în care sensul de rotire a cîmpului obținut este de același sens cu cel al tensiunilor de alimentare de la borne (*R-S-T*), motorul va avea rotația dorită. Dacă valoarea tensiunii obținute este prea mică, pentru a executa proba se folosesc două transformatoare de 12—24 V/220 V montate în V pentru alimentarea indicatorului de sens (fig. 46).

Motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit. Se alimentează statorul cu o tensiune redusă, în cazul motoarelor de tensiune înaltă de obicei cu 3×380 V, iar pentru motoarele de tensiune joasă cu un sistem de tensiune trifazat redus.

Se dă un cuplu de rotație rotorului în sensul dorit și în cazul în care sensul de rotație dat corespunde cu cel al cîmpului învîrtitor, motorul se va roti încet în continuare.

Pentru motoarele mari, alimentarea se face prin trei ampermetre montate cum se indică în fig. 47.

Dacă la rotirea în sensul dorit ele vor arăta un curent în scădere, rezultă că sensul de rotație corespunde cu cel al cîmpului.

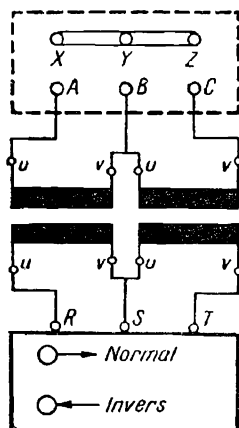


Fig. 46. Schema conectării indicatorului de sens, folosind transformatoare.

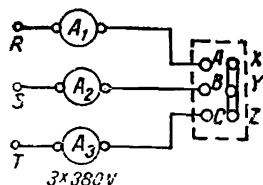


Fig. 47. Alimentarea cu tensiunea redusă a motoarelor asincrone trifazate.

În caz contrar indicațiile aparatelor vor crește ca rezultat al sensurilor opuse al rotației cu cel al cîmpului.

Pentru obținerea sensului de rotație necesar, se vor inversa două faze între ele.

4.9. Pornirea motoarelor

În afară de regulile generale descrise, în cazul motoarelor asincrone trifazate se vor avea în vedere indicații speciale pentru tipurile de mașini și modul lor de pornire.

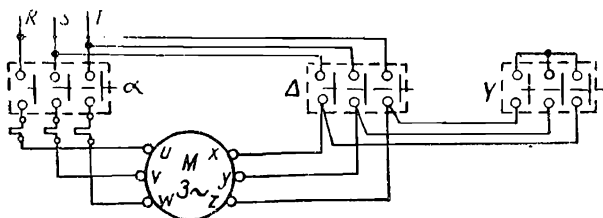


Fig. 48. Schemă de pornire Y—Δ la un motor asincron trifazat.

Pentru motoarele asincrone trifazate cu pornire Y— Δ se verifică stabilirea corectă a reglajelor releelor. Astfel, pentru o conectare ca în exemplu din fig. 48, protecția va trebui reglată în funcție de curentul pe fază al motorului.

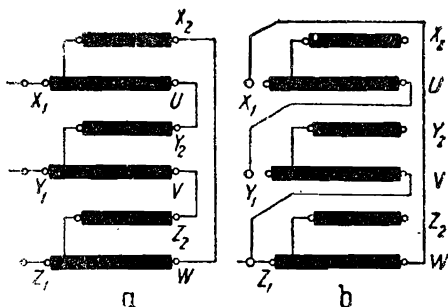


Fig. 49. Schemă de conexiuni la motoare asincrone trifazate, prevăzute cu înfășurare specială de pornire:
a — la pornire; b — la funcționare.

În cazul motoarelor asincrone trifazate cu înfășurarea specială de pornire, se va verifica în mod special execuția legăturilor la întrerupătoarele automate, pentru a asigura conexiunile după schemele din fig. 49, a și b.

Se asigură o pornire lentă fără șoc de pornire prin executarea schemei din fig. 49, a. În funcționarea normală se va asigura conexiunea în Δ ca în fig. 49, b.

4.10. Ridicarea caracteristicilor de funcționare la motoare

Ridicarea caracteristicilor de funcționare este deosebit de importantă și se efectuează în timpul probelor de pornire. Această operație permite stabilirea siguranței de funcționare a motorului și se obțin în același timp date pentru calcule și controlul ulterior în exploatare.

În general, se recomandă următoarele:

— la motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit se vor măsura alunecarea, curentii de mers în gol, se va ridica caracteristica de scurtcircuit;

- - la motoarele asincrone cu rotorul bobinat, se măsoară curenții de mers în gol și alunecarea, raportul de transformare și se ridică caracteristica de scurtcircuit;

pentru motoarele sincrone se determină curentul de pornire, se fac probe de pornire și intrare în sincronism și se ridică caracteristicile de sarcină.

4.11. Motoare asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit

4.11.1. Măsurarea alunecării

Pentru mașinile cu putere mai mare de 40 kW, în cazul acționărilor electrice importante, se măsoară alunecarea.

La măsurarea alunecării motoarelor se folosește metoda bobinei de inducție sau o lampă de neon.

Metoda bobinei de inducție. Se determină alunecarea prin controlul vitezei de rotație al fluxurilor de dispersie rotorice, care au o frecvență proporțională cu alunecarea.

Se alege o bobină avînd între 10 000 și 20 000 spire și se așază la capătul arborelui. Se racordează la această bobină un milivoltmetru, de preferat cu zero la mijlocul scalei.

Dacă motorul este în funcțiune, datorită fluxurilor de scăpări în bobină se va induce o t.e.m. care va avea aceeași frecvență ca și frecvența fluxurilor de scăpări.

Aparatul va indica oscilațiile t.e.m. cu schimbările de sens și prin rotirea bobinei se determină poziția care corespunde derivațiilor maxime ale acului aparatului. Citind n oscilații complete în t secunde, se poate calcula alunecarea cu relația

$$S \% = 100 \frac{n}{tf}$$

și pentru $f = 50$ Hz

$$S \% = \frac{2n}{t}$$

Dacă deviațiile acului aparatului nu sînt suficient de distincte, se amplifică fluxul magnetic în bobină introducînd în interior un miez din tole de fier. Această metodă este comodă pentru toate tipurile de mașini.

Metoda cu lampa de neon. Această metodă poate fi folosită numai la mașinile care au montat un disc pe capul arborelui sau au cupla liberă. Pe disc sau pe cuplă se trasează cu cretă un număr de raze egal cu numărul de poli ai motorului avînd periferia împărțită în mod egal.

Se pornește motorul și se iluminează cu lampa de neon discul sau cupla astfel trasate. Datorită inerției luminoase foarte mici a lămpii cu neon, aceasta are numărul de aprinderi egal cu cel al semiperioadelor tensiunii de alimentare și, privind discul sau cupla, vom avea impresia vizuală că acestea se învîrtesc în sens invers rotorului.

Viteza de rotire a razelor trasate este proporțională cu diferența dintre frecvența de aprinderea lămpii cu neon și numărul de rotații ale discului sau cuplei solidare cu rotorul.

Dacă în t secunde trec n dungi pe lîngă un reper luat, alunecarea se determină cu relația

$$S \% = \frac{n}{2tf} 100$$

și pentru $f=50$ Hz

$$S \% = \frac{n}{t} \cdot$$

Măsurînd alunecarea prin una din cele două metode la diverse sarcini ale motorului, se poate ridica chiar o porțiune din caracteristica $M=f(S)$ importantă în acțiunile electrice.

4.11.2. Măsurarea curentului de mers în gol

Curentul de mers în gol se măsoară avînd motorul în funcțiune alimentat la tensiunea nominală cu $f=50$ Hz = constant, decuplat de mecanismul sau agregatul cu care lucrează și după ce s-a efectuat rodajul pentru evitarea frecărilor suplimentare.

Valoarea măsurată în condițiile sus amintite nu trebuie să depășească valoarea din catalog cu mai mult de $\pm 10\%$.

În cazul cînd măsurarea nu se poate face la $U=U_n$ și este necesar a se determina precis curentul de mers în gol, se vor folosi la recalculări caracteristicile de fabrică.

Pentru orientare se poate folosi caracteristica $i_0 = f(U)$ la $f = 50$ Hz constant trasată în fig. 50.

Pentru a fi mai ușoară folosirea acestei caracteristici a fost trasată în valori raportate $\frac{U}{U_n}$ și $\frac{i_0}{i_{0n}}$.

4.11.3. Incercarea în scurtcircuit

La motoarele de tensiune înaltă importante ca mărime și rol se recomandă efectuarea încercării în scurtcircuit. Această încercare permite obținerea datelor necesare pentru reglarea protecțiilor și pentru comparare ulterioară în timpul exploatării.

Se alimentează motorul cu tensiune scăzută, rotorul fiind cald și se măsoară curenții pe fazele statorului.

La motoarele de tensiune înaltă cu $U=6-10$ kV alimentarea se face la 380 V. Valorile curenților statorici vor fi de 2...3 ori mai mici decît valorile nominale. Curenții măsurați pe faze nu trebuie să difere între ei cu mai mult de 5%.

Avînd cunoscute valorile nominale U_n , I_n și tensiunea la care se face proba U_{sc} , măsurînd curenții I_{sc} , se poate determina curentul de pornire la tensiunea nominală sau la alte valori ale tensiunii pentru porniri speciale, cu relația

$$I_p = I_{sc} \frac{U_p}{U_{sc}} \quad [A].$$

Cu U_p s-a notat tensiunea la care se face pornirea în condiții normale de exploatare.

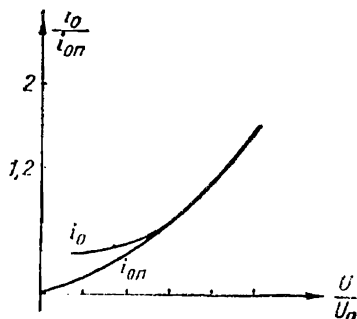


Fig. 50. Caracteristica $I_0=f(U)$ pentru motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit.

4.12. Motoare asincrone trifazate cu rotorul bobinat

Determinarea curentului de mers în gol, măsurarea alunecării și încercarea în scurtcircuit se efectuează după indicațiile și precizările anterioare. Și în acest caz, pentru motoarele mari de tensiune înaltă se verifică raportul de transformare între înfășurările statorice și rotorice, măsurare care confirmă starea bună a înfășurărilor și simetria electrică și magnetică a mașinii.

Această determinare se face prin două metode:

— Se ridică periile de pe inelele colectoare și se alimentează înfășurările statorice cu un sistem trifazat simetric de 3×220 V sau 3×380 V. Se măsoară tensiunile rotorice induse la inele.

În acest caz raportul de transformare stator-rotor este

$$K_{sp} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{E_{ab} + E_{bc} + E_{ca}},$$

unde: U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} sînt tensiunile de alimentare între fazele statorice;

E_{ab} , E_{bc} , E_{ca} sînt t.e.m. rotorice induse.

Diferența tensiunilor rotorice induse nu trebuie să depășească 1%, fapt ce confirmă starea bună a înfășurărilor statorice și rotorice.

Dacă sistemul tensiunilor de alimentare nu este simetric, diferența sus amintită poate ajunge pînă la 2—3%. În cazul acestei metode tensiunea măsurată la inelele colectoare este cu 3...5% mai mică față de valoarea de calcul rezultată din raportul numărului de spire, datorită căderilor de tensiune în înfășurarea statorică și a fluxurilor mari de dispersie.

Se alimentează o fază statorică, de exemplu AX cu o tensiune U_a . Se măsoară tensiunile induse pe celelalte faze statorice E_B la BY și E_C la CZ. De asemenea, se măsoară valoarea maximă a tensiunii induse dintre două inele, de exemplu între a și c valoarea E_{ac} , care se obține citind

la un voltmetru cînd se rotește încet manual rotorul. Raportul de transformare între stator și rotor va fi

$$K_{sp} = \sqrt{3} \left[\frac{E_B + E_C}{E_{ac}} \right].$$

Tensiunile E_B și E_C induse în înfășurările BY și CZ trebuie să fie egale, ceea ce arată că mașina este simetrică electric și magnetic.

Dacă măsurarea dintre inelele $a-c$ se repetă identic și pentru celelalte două poziții $a-b$ și $b-c$, se vor obține tensiunile induse E_{ab} și E_{bc} .

Cele trei tensiuni rotorice induse și măsurate mai sus vor fi egale, ceea ce indică starea bună a înfășurărilor rotorice, simetria electrică și magnetică.

4.13. Motoare sincrone trifazate

4.13.1. Încercarea în scurtcircuit

Încercarea în scurtcircuit se obișnuiește a se face în practică la motoarele sincrone de tensiune înaltă, pentru a se putea calcula, după rezultatele obținute, curentul de pornire și tensiunea rotorică indusă, ce se aplică excitației sau rezistenței de pornire și dezexcitare la pornire (în cazul cînd aceste valori nu se cunosc din cartea mașinii sau se cer în mod special).

Accastă probă se efectuează alimentînd înfășurarea statorică de înaltă tensiune cu o tensiune scăzută (de obicei 3×380 V) și avînd rotorul calat.

Înfășurarea rotorică este legată la excitatoare sau la rezistența de pornire și dezexcitare, după cum prevede schema proprie.

Se vor măsura:

U'_s — tensiunea de alimentare statorică;

I'_s — curenții statorici pe toate fazele;

U'_r — tensiunea la bornele rotorului.

Cunoscînd tensiunea de alimentare U_p , a motorului în funcționare normală la care se face pornirea, se poate calcula:

— curentul de pornire, dat de relația

$$I_p = \frac{U_p}{U_s} I'_s \quad [A],$$

în care: $U_p = U_n$, dacă pornirea se face direct;

— tensiunea rotorică, cu relația

$$U_r = \frac{U_p}{U_s} U'_r \quad [V].$$

Obținerea acestor date este importantă pentru reglarea aparatajului de pornire și protecție.

4.13.2. Controlul pornirii motoarelor sincrone

În cazul motoarelor sincrone, pornirea și cuplarea în sincronism prezintă probleme speciale foarte importante, fapt care cere o serie de verificări suplimentare.

Datorită construcției motorului sincron și în mod cu totul special la motoarele sincrone cu pornire în asincron sînt necesare:

— Controlul amănunțit al circuitului de excitație și al aparatajului, care trebuie să aibă o funcționare sigură.

— Circuitul de excitație nu trebuie să fie deschis nici un moment pentru a se evita apariția unor supratensiuni periculoase în cazul circuitului deschis la pornire (contactele automatelor bine făcute, rezistența de pornire întregă, funcționarea corectă și sigură a schemei de excitație).

— Controlul contactelor automatului principal de excitație și stingere a cîmpului trebuie făcut amănunțit, deoarece acestea se pot perla sau contura neasigurînd integritatea cerută circuitului.

— În cazul motoarelor cu pornire în asincron numărul pornirilor repetate pe oră va fi limitat de numărul maxim indicat de fabrica constructoare, condiție ce trebuie strict respectată, pentru a evita supraîncălzirile inadmi-

bile ale coliviei de pornire. Tot din acelaș motiv se va evita o funcționare prelungită în asincron.

— Circuitul de excitație se închide pe o rezistență de 8—10 ori mai mare decât rezistența proprie a rotorului. Aceasta este necesară deoarece la pornire în circuitul de excitație tensiunea indusă atinge valori însemnate periculoase pentru izolația rotorului.

— După efectuarea primelor porniri succesive se va verifica imediat circuitul de excitație dacă nu s-au produs supraîncălziri la unele elemente (contacte slabe, legături nestrinse suficient etc.).

4.13.3. Ridicarea caracteristicilor de sarcină

În cazul motoarelor sincrone de tensiune înaltă și de putere mare, este indicat a se ridica caracteristica de sarcină, deoarece dă indicații asupra condițiilor reglării excitației motorului.

Proba se efectuează ușor fără modificarea schemei și gradul de precizie al instrumentelor de măsurat de pe tablou poate fi considerat suficient.

Caracteristica se ridică reglând curentul de excitație, motorul funcționând în regim supraexcitat și subexcitat.

La $P=0$, ramura dreaptă a curbei (supraexcitare) se trasează între $\frac{I_s}{I_n} = 1,25$ și minim. Ramura stîngă (subexcitare) se trasează între $\frac{I_s}{I_n} = \text{minim}$

și $(0,6-0,8) I_s$ pentru evitarea ieșirii din sincronism (fig. 51).

În cazuri speciale indicate de necesitățile condițiilor de funcționare se mai ridică și caracteristicile pentru $P=0,5 P_n=0$ și $P=P_n$, fapt ce permite stabilirea corectă a pozițiilor de maxim și minim a reostatului de reglaj al excitației și domeniul de reglaj, iar în cazul schemelor de comandă automată se reglează parametrii reglatoarelor.

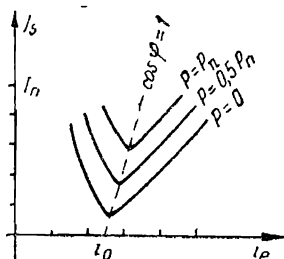


Fig. 51. Caracteristicile în V ale motorului sincron. Cu i_0 s-a notat curentul primar la mers în gol, pentru $\cos \varphi = 1$.

4.14. Generatoare sincrone

La punerea în funcțiune a generatoarelor sincrone se ridică caracteristica de mers în gol și în scurtcircuit care arată funcționarea corectă a mașinii în condițiile limită. În cazuri speciale, cînd în cartea mașinii se prevăd indicații speciale asupra probelor de punere în funcțiune și a caracteristicilor ce trebuie ridicate, se vor avea în vedere și acestea.

4.14.1. Ridicarea caracteristicii de mers în gol

$$U = f(i_e) \text{ pentru } n = n_n = \text{constant}$$

Această caracteristică se ridică pentru determinarea funcționării generatorului la excitare și dezexcitare, verificarea simetriei tensiunilor compuse, efectuîndu-se și încercarea cu tensiune mărită a izolației dintre spire. Dată

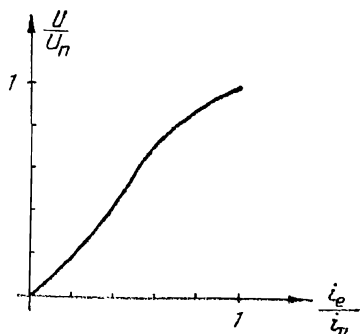


Fig. 52. Caracteristica de mers în gol a generatorului sincron.

fiind asemănarea în funcționare și a circuitelor magnetice, caracteristica se ridică la fel ca la generatorul de curent continuu, derivație.

Se pornește de la $i_{ex}=0$ și se variază continuu pînă la valoarea $1,3 U_n$ citindu-se suficiente puncte pentru ridicarea curbei. Se fac citiri și la reducerea excitației pentru aceleași puncte pînă la zero.

Dacă nu se poate obține condiția $n = n_n = \text{constant}$, în timpul ridicării caracteristicii pentru o turație diferită se face corecția cu relația

$$U = U_{m\acute{a}s} \frac{n_n}{n_{m\acute{a}s}} \quad [\text{V}].$$

În relația de mai sus s-a notat cu U tensiunea corespunzătoare turației nominale n_n și cu $U_{m\acute{a}s}$ tensiunea măsurată corespunzătoare la turația $n_{m\acute{a}s}$.

În general caracteristicile se dau generalizate, fiind exprimate în unități relative $\frac{U}{U_n}$ și $\frac{i_e}{i_{en}}$

4.14.2. Ridicarea caracteristicii de scurtcircuit trifazat $I_{sc} = f(i_e)$ pentru $n = n_n = \text{constant}$

Caracteristica de scurtcircuit trifazat (fig. 53) se ridică pentru determinarea funcționării generatorului la curentul nominal, stabilirea existenței simetriei curenților pe faze, verificarea funcționării aparatului primar la curentul nominal al generatorului, verificarea funcționării protecțiilor și măsurării.

Se scurtcircuitează cele trei faze ale generatorului și se măsoară curentul pe fiecare fază pornind de la $i_{ex} = 0$. Se consideră valoarea curentului statoric media valorilor citite pe fiecare fază.

Valorile curenților citate nu trebuie să difere între ele cu mai mult de 2—3%.

Valoarea curentului se mărește pînă la $I_{sc} = I_n$, iar depășirea admisă ca valoare și timp de acționare va fi conform indicațiilor fabricii constructoare. În cazul lipsei acestor instrucțiuni se vor avea în vedere indicațiile din P.E.T.

Restul caracteristicilor se ridică după necesitatea la indicațiile speciale ale fabricii constructoare sau la condiții speciale de funcționare.

O dată cu ridicarea caracteristicilor generatorului se ridică și caracteristica de sarcină a excitatoarei.

Abaterile de la caracteristicile date de fabrică nu se normează. Practic, însă, abaterile obținute trebuie să fie în limitele preciziei în care se execută măsurările.

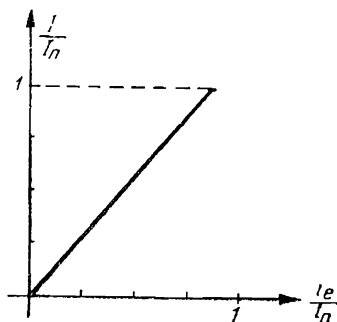


Fig. 53. Caracteristica de scurtcircuit la generatoare trifazate.

Bibliografie

1. Colecția STAS
2. Melekhova, E. și Rușanu, C. *Periile și portperiile mașinilor electrice*. București, Editura Tehnică, 1960.
3. Ghemke, R. G. *Defectele mașinilor electrice* Ed. a V-a (trad. din l. rusă). București, Editura Tehnică, 1960.
4. AEG, *Instrucțiuni pentru motoare electrice conform DIN-40.050 VDE 0171*.
5. Siemens. *Instrucțiuni pentru mașini electrice AN.M.A. 2505*
6. Montecatini. *Instrucțiuni de montaj și probe a motoarelor Marelli și C.E.T.* — Italia.
7. Westinghouse. *Instrucțiuni pentru motoare asincrone și sincrone I.B. 1300 FA-1* Ed. 1959.
8. M.E.E. Instrucțiunea 42—54. *Instrucțiuni pentru încercările de recepție ale mașinilor și echipamentelor electrice după montarea la locul de utilizare*. București, Editura Energetică, 1954.
9. M.E.E. — I.R.M.E. *Norme de încercări, măsuri și probe ale echipamentului electric*. București, 1966.
10. M.E.E. Instrucțiunea 20—55 Ed. II, Cap. IV. *Metode de execuție a controlului și verificărilor în timpul și la sfârșitul reparațiilor*.
11. Tun, A. Ia. și Ivanov, A. O. *Îndrumător pentru reglarea echipamentului de acționare electrică* (trad. din l. rusă), București, Editura Tehnică, 1961.
12. Cerepenin, P. G. *Cum se montează motoarele electrice asincrone* (trad. din l. rusă), București, Editura Tehnică, 1967.
13. Nedelcu, V. N. *O nouă metodă pentru determinarea experimentală a raportului de transformare la motoarele asincrone trifazate*. În: Electrotehnica, 7 iulie, 1966.
14. GOST 183-55.

Cuprins

Prefață	3
1. Probe generale privind mașinile electrice	5
1.1. Verificări necesare	5
1.2. Verificarea exterioară	6
1.3. Verificarea montajului mecanic al mașinii	6
1.4. Măsurarea rezistenței de izolație	10
1.5. Verificarea izolației lagărelor	19
1.6. Verificarea rezistenței de izolație a termorezistențelor montate în mașină	21
1.7. Verificarea rezistenței de izolație a buloanelor de strângere a statorului	21
1.8. Încercarea rigidității dielectrice a izolației înfășurărilor	22
1.9. Încercarea rigidității dielectrice a izolației dintre spiarele înfășurărilor	26
1.10. Măsurarea rezistențelor înfășurărilor	27
2. Pornirea mașinilor electrice	30
2.1. Pornirea motoarelor	31
2.2. Pornirea generatoarelor	34
3. Verificările mașinilor de curent continuu	36
3.1. Verificarea părții mecanice	36
3.2. Verificarea așezării perilor pe colector	37
3.3. Schemele de conectare la rețea și legăturile interioare ale mașinilor electrice de curent continuu	45
3.4. Verificarea conexiunilor înfășurărilor	49
3.4.1. Determinarea polarității polilor	50
3.4.2. Determinarea polarității înfășurărilor de excitație serie și derivație	53
3.4.3. Verificarea legăturii între înfășurarea rotorică și a polilor auxiliari	53
3.5. Scînteierea perilor la colector și suprimarea ei	54
3.6. Verificarea polarității perilor	56
3.7. Restabilirea remanenței magnetice	58
3.8. Ridicarea caracteristicilor de funcționare la motoare	59
3.8.1. Caracteristice de reglaj	59
3.8.2. Caracteristica turației	61
3.8.3. Caracteristici de reglaj a turației în grup generator-motor	61

3.9.	Ridicarea caracteristicilor la generatoare	62
3.9.1.	Caracteristica de mers în gol	62
3.9.2.	Caracteristica externă	63
4.	Mașini de curent alternativ	66
4.1.	Marcarea bornelor	66
4.2.	Schemele de conectare a înfășurărilor la borne	67
4.3.	Verificarea conexiunilor înfășurărilor	69
4.4.	Verificarea legăturii la pământ a rotorului	71
4.5.	Verificarea rezistențelor de dezexcitare și a rezistențelor de punere la pământ	71
4.6.	Verificarea rezistenței de izolație a rotorului și excita-toarei la mașinile sincrone	72
4.7.	Determinarea tangentei unghiului de pierderi dielec-trice și a capacității izolației înfășurărilor statorice la mașinile de tensiune înaltă	72
4.8.	Stabilirea sensului de rotație	73
4.9.	Pornirea motoarelor	75
4.10.	Ridicarea caracteristicilor de funcționare la motoare	76
4.11.	Motoare asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit	77
4.11.1.	Măsurarea alunecării	77
4.11.2.	Măsurarea curentului de mers în gol	78
4.11.3.	Încercarea în scurtcircuit	79
4.12.	Motoare asincrone trifazate cu rotorul bobinat	80
4.13.	Motoare sincrone trifazate	81
4.13.1.	Încercarea în scurtcircuit	81
4.13.2.	Controlul pornirii motoarelor sincrone	82
4.13.3.	Ridicarea caracteristicilor de sarcină	83
4.14.	Generatoare sincrone	84
4.14.1.	Ridicarea caracteristicii de mers în gol	84
4.14.2.	Ridicarea caracteristicii de scurtcircuit trifazat	85
Bibliografie		86

Redactor responsabil: ing. CONST. RUȘANU
Tehnoredactor: GRIGORE LECA

*Dat la cules: 03.10.1967. Bun de tipar: 09.01.1968.
Apărut: 1968. Tiraj: 6500+140 ex. broșate. Hirtie:
tipar înalt tip B, de 63 g/m². Format: 540×840/16.
Coli editoriale: 4.12. Coli de tipar: 5,50. A.:
16 406/1967. C.Z. pentru bibliotecile mari:
621.313.001.4. C.Z. pentru bibliotecile mici: 621.*

Tiparul executat sub cda. nr. 361/67 la Întreprin-
derea poligrafică „Crișana” Oradea,
str. Moscovei nr. 5.
REPUBLICA SOCIALISTĂ ROMÂNIA